



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## **Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTÉ DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE**

**DEPARTEMENT : GENIE CIVIL**

**Domaine : science et technique**

**Filière : HYDRAULIQUE**

**Option : Ressources Hydraulique**

### **Mémoire de Master**

#### **Thème**

Aide à la décision par l'application de la méthode AHP à l'analyse multicritère de la vulnérabilité aux inondations. Cas du bassin-versant de Oued M'zab

Présenté par : Mokhtari Youcef

#### **Jury de soutenance :**

##### **Nom et Prénom**

Mr. Sekkoum Mohamed  
Mr. Guidoum Azeddine  
Mr. Hamlat Abdelkader

##### **Qualité**

Président  
Examineur  
Rapporteur

**2021/2022**

## ***Dédicace***

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont tout donné sans rien demander et à qui je dois énormément et qui je ne remercierais jamais :*

*Mon père et Ma maman*

*Mon frère Mes sœurs*

*Pour les sacrifices et les encouragements qu'ils m'ont donné et qui m'ont permis de persévérer, Qu'Allah puisse les garder éternellement heureux.*

*Merci du fond du cœur. A tous mes amis.*

*A tous qui m'aiment et que j'aime.*

***Youcef mokhtari***

## **Remerciements**

*Avant tout nous remercions notre Dieu qui nous ont éclairé la bonnevoie et nous ont aidé à la parcourir.*

*Je remercie mes parents qui se sont sacrifiés pour notre bien et que nous ont encouragé et soutenu le long de notre vie.*

*Je remercie également tous ceux qui nous ont aidé à réaliser ce mémoire de fin d'études et n'ont ménagé aucun effort pour répondre à nos question, chacun dans son domaine.*

*Nous commençons par transmettre nos profonds respects Remerciements à Mon encadreur : Mr. Hamlat Abdelkader pour leur aide, leur encouragement et leur patience.*

*Nos vifs remerciements sont adressés aux membres de jury Mr. SEKKOUM Mohamed et Mr. Guidoum Azzedine de nous avoir honoré de leur présence et d'avoir voulu évaluer ce travail*

*Nous tenons à remercier l'ensemble de nos enseignants.*

*Nous remercions enfin nos amis et surtout nos familles pour avoir supporté et accepté nos choix*

## **Résumé :**

L'objectif principal de cette étude est de cartographier la susceptibilité aux inondations du bassin versant de oued M'Zab par la combinaison du model statistique (AHP) et le système d'information géographique. Pour atteindre ce but, une démarche analytique de la distribution géo spatiale des paramètres intrinsèques au phénomène d'inondation a été réalisée. Sept facteurs conditionnant l'inondation ont été choisis suivant leur contribution pertinente à l'inondation. Une pondération de chaque paramètre a été calculée par la méthode AHP basée sur l'environnement du SIG. En conséquence, une cartographie thématique de la susceptibilité aux inondations régionales a été établie par la classification d'indice global de la susceptibilité. Il en résulte que 1,52% de la superficie totale du bassin versant est soumis à une susceptibilité très élevée aux inondations, 6,55% à une susceptibilité élevée, 30,46% à une susceptibilité modérée, 60,74% et 0,73% à une susceptibilité très faible et faible respectivement. Les inondations catastrophiques historiques sont localisées dans les zones de susceptibilité élevées à très élevée, ce qui permet de valider notre carte. Cette carte simulée synthétique aux inondations potentielles permettra de définir les zones susceptibles à l'inondation et servira ainsi comme outil adapté à l'aménagement du territoire pour explorer de zones abritées au risque hydrique en cas d'une inondation dévastatrice.

**Mots clés :** susceptibilité, inondation, AHP, SIG, Oued M'zab, Algérie.

## **Abstract:**

The main objective of this study is to map the susceptibility to flooding of the Wadi M'Zab basin using the AHP method and the geographic information system. In order to achieve this goal, an analytical approach of the geospatial distribution of the parameters intrinsic to the flooding phenomenon was carried out. Seven factors conditioning flooding were chosen according to their relevant contribution to flooding. A weighting of each parameter was calculated by the AHP method based on the SIG environment. Accordingly, a thematic map of regional flood susceptibility has been established by the Global Susceptibility Index classification. As a result, 1.52% of the total watershed area is subject to very high susceptibility to flooding, 6.55% to high susceptibility, 30.46% to moderate susceptibility, 60.74% and 0, 73% at very low and low susceptibility, respectively. Historical catastrophic floods are located in areas of high to very high susceptibility, which helps validate our map. This synthetic simulated map with potential floods will make it possible to define the areas susceptible to flooding and will thus serve as a tool adapted to land use planning to explore sheltered areas at high risk in the event of a devastating flood.

**Keywords:** susceptibility, flooding, AHP, SIG, M'zab wadi , Algeria.

## ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحديد مدى التعرض للفيضان حلوض وادي مزاب من خلال اجمع بني النموذج الإحصائي (AHP) ونظام المعلومات الجغرافية. لتحقيق هذا الهدف ، من تنفيذ هج تحليلي للتوزيع الجغرافي ذلك من للمعاري اجمهورية لظاهرة الفيضان. من اختبار سبعة عوامل لتكبير الفيضانات وقياس أهميتها ذات الصلة بـ الفيضانات. من حساب ترجيح كل معيار بواسطة طريقة AHP بناءً على بنية SIG 2 ونوعاً على ذلك ، من وضع خرائط موضوعية لقياس الأثر البيئي الفيضانات الإقليمية من خلال تصنيف مؤشر احساسية العادي. ونتيجة لذلك ، فإن 1..2% من إجمال حوض التغذية معرضة بنسبة عالية جداً للفيضانات ، و 5...% لقابلية عالية ، و 64.05% حساسية معتدلة ، و 54.00% و 4.06% ، لقابلية منخفضة جداً ومنخفضة على التوالي. نوع الفيضانات الكارثية التاريخية في المناطق ذات القابلية العالية جداً للتأثر ، مما يساعد على التحقق من صحة خريطاتنا. سيجعل هذه الخلطة المصطنعية احتمالية مع الفيضانات المحتملة من الممكن تحديد المناطق المعرضة للفيضانات ، وبالتالي سكون بمثابة أداة لتكبير مع خنطيط اسرخدام الأراضي السرخشاف المناطق الاحتمالية المعرضة لخطر المياه في حالة حدوث فيضانات مدمرة.

.الكلمات المفتاحية: القابلية ، الفيضانات ، AHP ، SIG ، وادي مزاب ، الجزائر.

## Table des matières

<b>Introduction</b> .....	1
<b>Chapitre I :État de l'art sur l'analyse multicritère de la vulnérabilité</b> .....	
<b>(Méthode d'évaluation du risque d'inondation)</b> .....	3
<b>I.1. Introduction</b> .....	3
<b>I.2. L'analyse multicritère</b> .....	3
<b>I.2.1. Qu'est ce que l'analyse multicritère ?</b> .....	3
<b>I.2.2. Pourquoi utiliser l'analyse multicritère ?</b> .....	3
<b>I.2.3. Principales utilisations</b> .....	4
<b>I.3. Principales méthodes multicritères d'aide à la décision</b> .....	4
<b>I.3.1 Méthodes d'agrégation selon l'approche du critère unique de synthèse</b> .....	4
a) TOPSIS : Technique de classement par similarité avec la solution idéale .....	4
b) SMART : Technique simple de notation multi-attributs .....	4
c) SAW : Pondération additive simple .....	4
d) AHP : Processus de hiérarchisation analytique .....	5
e) MAVT : Théorie de la valeur des attributs multiples .....	5
f) MAUT : Théorie de l'utilité des attributs multiples .....	5
g) UTA : Théorie de l'utilité Additive.....	5
<b>I.3.2 Méthode d'agrégation partielle : approche de surclassèment de synthèse</b> .....	6
<b>Promethee: Preference ranking organization method for enrichment evaluation</b> .....	6
a) Electre I : Élimination et Choix Traduisant la Réalité .....	6
b) Electre II .....	6
c) ELECTRE III.....	6
<b>I.3.3 Méthodes d'agrégation locale : approche du jugement local interactif</b> .....	6
a) PLM : Programmation linière multicritère .....	6
b) STEM : Step Method .....	7
<b>I.4 Méthode AHP ; (Analytic Hierarchy Process)</b> .....	7
<b>I.4.1 Définition de la méthode AHP</b> .....	7
<b>I.4.2 Caractéristiques de la méthode AHP</b> .....	7
<b>I.4.3 Les étapes de l'application</b> .....	8
Étape 1 : Etablir la structure hiérarchique.....	8
Étape 2 : Effectuer les combinaisons binaires .....	9
Étape 3 : Déterminer les vecteurs propres .....	10

Étape 4 : Calculer le ratio de cohérence (RC) .....	10
Étape 5 : Etablir les priorités finales.....	12
<b>I.4.4 Avantage de la méthode AHP .....</b>	<b>12</b>
<b>CHAPITRE II : NOTIONS SUR L’ALEA INONDATION .....</b>	<b>13</b>
<b>II.1. Introduction .....</b>	<b>13</b>
<b>II.2. Risques majeurs .....</b>	<b>13</b>
II.2.1 Risques naturels.....	13
II.2.2 Risques technologiques.....	13
II.2.3 Risques de transports collectifs .....	13
II.2.4 Risques de la vie quotidienne .....	13
II.2.5 Risques liés aux conflits. [1].....	13
_ Une faible fréquence .....	14
_ Une énorme gravité .....	14
<b>II.3. Inondation .....</b>	<b>14</b>
II.3.1. Définition .....	14
II.3.2. Connaissance de l’alea « inondation » .....	14
<b>II.4. Définition du concept du risque.....</b>	<b>15</b>
II.4.1 L’aléa .....	15
II.4.2 Définitions et porté de concept vulnérabilité.....	16
<b>II.5 L’organisation du risque d’inondation.....</b>	<b>16</b>
<b>CHAPITRE III : Présentation de la région d’étude .....</b>	<b>18</b>
<b>III.1 Situation géographique.....</b>	<b>18</b>
<b>III.2 Contexte géologique.....</b>	<b>19</b>
<b>III.3 Réseau hydrographique de la région .....</b>	<b>20</b>
<b>III.4 Contexte hydro-climatologique .....</b>	<b>22</b>
<b>III.4.1 Station météorologie de la ville de Ghardaïa.....</b>	<b>22</b>
<b>III.4.2 La température .....</b>	<b>22</b>
<b>III.4.3 Les précipitations .....</b>	<b>23</b>
<b>III.4.3.1 Les précipitations moyennes mensuelles.....</b>	<b>23</b>
<b>III.4.3.2 Les précipitations moyennes interannuelles .....</b>	<b>24</b>
<b>III.4.3.3 Les précipitations moyennes saisonnières .....</b>	<b>25</b>
<b>III.4.4 Le vent.....</b>	<b>26</b>
<b>III.4.5 L’humidité .....</b>	<b>27</b>
<b>III.4.6 Courbe Pluviothermique .....</b>	<b>28</b>
<b>III.5 Description et l'architecture de la vallée de M'Zab .....</b>	<b>29</b>
<b>III.5.1 Ouvrages de protection contre les crues de la vallée de l'oued M'Zab.....</b>	<b>29</b>

<b>III.5.2 La vallée du M’Zab : un site vulnérable au risque d’inondation</b> .....	29
<b>III.5.3 Inondations de Ghardaïa Oued M’Zab</b> .....	30
<b>Chapiter IV :</b> .....	
Analyse de la vulnérabilité au risque d'inondation dans le bassin versant de oued M'zab : application de la méthode AHP .....	32
IV.1 DEPLOIEMENT DE LA METHODE SUR LE BASSIN VERSANT DE OUED MZAB .....	32
IV.2 LES FACTEURS CONDITIONNANT L’INONDATION .....	32
IV.2.1 Accumulation de flux .....	33
IV.2.2 PLUVIOMETRIE .....	34
IV.2.3 LA DENSITE DE DRAINAGE .....	36
IV.2.4 PENTE .....	37
IV.2.5 OCCUPATION DU SOL .....	38
IV.2.6 ALTITUDE .....	39
IV.2.7 Types de sol .....	40
IV.3 PROCESSUS D'ANALYSE MULTICRITERE HIERARCHIQUE.....	41
IV.4 ANALYSE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX INONDATIONS .....	45
<b>Chapitre V : Résultats et interprétations</b> .....	47
<b>V.1 Résultats et discussion</b> .....	47
<b>CONCLUSION</b> .....	51
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	52

## **LISTE DES FIGURES:**

Fig.I.1 : Les étapes de l'application.

Fig.I.2 : La hiérarchie du problème.

Fig.II.1 : Définition de risque des inondations

Fig.III.1 : Carte situation géographique de la région d'étude. p2

Fig.III.2 : Carte géologique du bassin du Sahara (OSS, 2003).p3

Fig.III.3 : Réseau hydrographique du bassin versant de Oued M'Zab.p5

Fig.III.4 : Variation des températures moyennes mensuelles.p6

Figure :III.5 :Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation.p8

Figure :III.6 :Les variations des précipitations moyennes interannuelles (mm).p9

Figure : III.7 : Répartition des variations des précipitations moyennes saisonnière.p10

Figure : III.8 : histogramme des vitesses moyennes mensuelles des vents.p10

Figure :III.9 :Courbe des humidités relatives moyennes en (%).p11

Figure :III.10 :Courbe pluviothermique de la station de Ghardaïa.p12

Fig.III.11 : Les inondation de 01 octobre 2008 (avant et après)

Fig.IV.1 : accumulation des flux du bassin versant de Oued Mzab

Fig.IV.2 : précipitations par satellite (GSMaP) : 01/10/2008

Fig.IV.3 : carte de précipitation (01/10/2008) : a) à 03 H, b) à 4H, c) à 5H ; d) à 6 H (Gsmap)

Fig.IV.4 : Carte de précipitations (2001-2021) par satellite. (Gsmap)

Fig.IV.5 : densité de drainage du bassin versant de Oued Mzab

Fig.IV.6 : Carte du pente du bassin versant de Oued Mzab

Fig.IV.7 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de Oued Mzab

Fig.IV.8 : Carte d'élévation du bassin versant de Oued Mzab

Fig.IV.9 : Carte des sols du bassin versant de Oued Mzab

Fig.IV.10 : Reclassification des critères incluent dans la cartographie de la susceptibilité aux inondations du bassin versant de oued M'zab : a) pente, b) Occupation du sol, c) accumulation des flux, d) précipitation, e) types de sol, f) Altitude, g) Densité de drainage

## **LISTE DES TABLEAUX :**

- Tableau.I.1 : Exemple d'une matrice de comparaison par paire.
- Tableau.I.2 : Echelle de Saaty [Fiat, 2007].
- Tableau.I.3 : Les indices de cohérence aléatoire [Satty, 1984].
- Tableau.I.4 : Les ratios de cohérence acceptable [Satty, 1984].
- Tableau :III.1 : Coordonnées géographiques de la station de Ghardaïa (ONM).....
- Tableau :III.2 : Températures moyennes mensuelles (station de Ghardaïa , 1995 -2015)
- Tableau :III.3 : les précipitations moyennes mensuelles .
- Tableau :III.4 : Variations des précipitations moyennes interannuelles en mm
- Tableau :III.5: Variations des précipitations moyennes saisonnières (1995 -2015)
- Tableau.IV.1 : Données utilisées dans cette étude
- Tableau.IV.2 : Échelle proposée par Saaty
- Tableau.IV.3 : Matrice de comparaison par paire
- Tableau.IV.4 : Matrice de pondération
- Tableau.IV.5 : Valeurs de CA [24]
- Tableau.IV.6 : Classes des facteurs et leur pondération

# **Introduction Générale**

## **Introduction :**

La gestion des inondations en zone urbaine comme en milieu rural est devenue un enjeu capital pour les autorités étatiques et communales. Le phénomène tend à prendre de l'ampleur en raison de la pression démographique, de l'imperméabilisation des surfaces et des changements climatiques (Association Almaduis-Antea;Raïknan, 2014).

Aujourd'hui, plus de 50 % de la population mondiale vit en ville, et la croissance urbaine ne cesse d'augmenter (ONU-HABITAT, 2014). Elle estime que 2,5 milliard de personnes supplémentaires vivraient en zones urbaines d'ici 2050. Cette croissance urbaine est plus marquée en Afrique et Asie, surtout en ce qui concerne les villes de moyenne importance et comptant moins d'un million d'habitants. Cette concentration rapide de la population en milieu urbain accentue le phénomène d'urbanisation. Cette dernière, engendre toute une série d'avantages et de possibilités économiques, sociales et écologiques et les villes jouent un rôle central dans le développement et la réduction de la pauvreté. Mais cette croissance rapide, lorsqu'elle n'est pas planifiée, représente aussi des risques non négligeables pour la population.

La croissance urbaine que connaît la ville Ghardaïa est causée par l'absence d'une véritable politique d'urbanisation et un manque de connaissance en matière d'aménagement urbain, largement alimentée par l'exode rural qui provoquent l'insécurité, l'appauvrissement du milieu rural et les inondations (Wyss, 2000 cité par Hemchi, 2015). Aussi, est due à une absence de planification urbaine à moyen et à court terme et un manque de personnels qualifiés (Tobro, 2015). Cela a entraîné l'occupation anarchique au sein de la ville qui ne cesse de provoquer les inondations dont les plus marquantes sont celles des années 1988, 1998 et 2012 où plus de la moitié de la population était touchée (Abakar, 2015).

Les inondations constituent un risque majeur dans le monde entier (Olduvaï, 2013 ; Egentz, 2018). Elles peuvent avoir lieu presque n'importe où dans le monde avec des conséquences importantes pour l'environnement, économie et société. Certains analystes les placent au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde compte tenu de la quantité des victimes qu'elles font chaque année (MEDDI, 2004).

La ville de Ghardaïa, traversée par Oued M<sup>z</sup>ab et située dans la plaine inondable de la vallée de Oued Mzab, ne reste pas en marge de ce phénomène. Elle est régulièrement victime des inondations catastrophiques, malgré des aménagements nouveaux entrepris, des épisodes pluvieux ont des impacts négatifs sur les populations (Sainbe, 2011). Ces inondations sont dues aux ruissellements pluviaux aux débordements des Oueds, à la morphologie du terrain, à l'occupation des sols et à l'absence des réseaux de drainage pluvial. Ainsi, le bâti occupe, de plus en plus, des espaces réservés à l'eau : les anciens chenaux, les berges et lits des fleuves.

La cartographie de zones exposées à ce risque naturel devient une nécessité pour la gestion et la planification spatiale de l'aménagement du territoire. Pour cela, les chercheurs essaient de décrire ces différentes catastrophes mais surtout pour estimer le degré de risque dans les

différentes régions du monde en se basant sur les paramètres causatives intrinsèques et (extrinsèques). Dans la littérature des risques naturels, différents modèles ont été utilisés pour la cartographie de l'aléa d'inondation telle que les modèles hydrodynamiques et hydrologiques [1.2.3.4], ainsi par les méthodes statistiques [5.6.7], et d'autres recherches déterministes fondées principalement sur l'analyse multicritère hiérarchique ayant comme support le système d'information géographique „SIG“ [HADJADJ - ABDI Khaoula].

La présente étude est réalisée dans le but d'identifier et de cartographier les zones sensibles aux risques d'inondation ; car la gestion optimale des inondations nécessite au préalable une bonne connaissance des causes du phénomène et une bonne cartographie de son extension [BOUBEKEUR Rachid]. L'approche méthodique est basée sur une analyse multicritère combinée à des systèmes information géographique (SIG). Les SIG sont des outils particulièrement performants pour l'étude des risques naturels, en particulier la surveillance des phénomènes d'inondations [ROY, Bernard]; car ils permettent d'identifier les zones affectées, d'hiérarchiser le risque et contribuent à la mise en place de plans de préventions des risques [MAYSTRE Lucien]. L'analyse multicritère permet de déterminer l'importance relative de chaque facteur induisant l'inondation, en lui attribuant un poids. L'AHP (Analytic hierarchy process) est la technique d'analyse multicritère utilisée dans ce travail. Elle est considérée comme une méthode optimale pour hiérarchiser des facteurs multiples afin de générer une information spatiale de la susceptibilité aux inondations [Abdel YEZZA, Ph.D], [IBRAHIME AND R A SURYA] . Il s'agit d'une approche d'aide à la décision simple, rapide, modulable, facilement adaptable et peu coûteuse à mettre en place, mais aussi un outil de concertation et de médiation qui nécessite l'implication de toutes les parties intéressées.

Cinq chapitres constituent l'ossature de ce travail. Le premier et deuxième chapitre traite des généralités liées au sujet de recherche. Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la région d'étude. Dans le quatrième chapitre, on a appliqué la méthode AHP pour une analyse de la vulnérabilité au risque d'inondation dans le bassin versant de oued M'zab. Enfin, c'est dans le cinquième et dernier chapitre qu'apparaissent les résultats de la recherche.

# **Chapitre I : État de l'art sur l'analyse multicritère de la vulnérabilité (Méthode d'évaluation du risque d'inondation)**

# **Chapitre I : État de l'art sur l'analyse multicritère de la vulnérabilité (Méthode d'évaluation du risque d'inondation)**

## **I.1. Introduction :**

La plupart des institutions ont besoin d'aide jusqu'à trouver une décision, que ce soit une assistance conformément aux méthodes de la façon d'expérimenter des modèles et des procédures antérieures ou d'autres, ou en développement en fonction de plusieurs critères pour aider à la prise de décision qui sont utilisés dans de nombreux domaines, les problèmes de prise de décision sont souvent conçus pour chercher les exemples se fondent sur des méthodes mathématiques et dans de multiples problèmes. Pour résoudre ce problème, il a été proposé multicritères, qui tiennent compte de tous les points contradictoires de la méthodologie d'analyse, et l'objectif de cette dernière est de répondre à certaines méthodes quantitatives pour la prise de décisions visent également à clarifier le rôle du système assistant joue sur la prise de décision. (BOUBEKEUR Rachid)

## **I.2. L'analyse multicritère**

### **I.2.1. Qu'est-ce que l'analyse multicritère ?**

L'analyse multicritère est une méthode qui permet d'orienter un choix sur la base de plusieurs critères communs. Cette méthode est essentiellement destinée à la compréhension et à la résolution de problèmes de décision. Elle est utilisée pour porter un jugement comparatif entre des projets ou des mesures hétérogènes. De ce fait elle peut être utilisée en évaluation. Ainsi, sur la base de plusieurs critères, les décideurs sont en mesure d'intégrer, dans un cadre prospectif ou rétrospectif, la diversité des opinions concernant les projets, pour formuler un jugement. Cette méthode implique la participation des acteurs (décideurs, techniciens, bénéficiaires, etc.) et aboutit à des conseils opérationnels et à des recommandations. Son but est d'aboutir à une solution par la simplification du problème, tout en respectant les préférences des acteurs. (ROY, Bernard, BOUYSSOU)

### **I.2.2. Pourquoi utiliser l'analyse multicritère ?**

L'analyse multicritère est utilisée pour porter un jugement comparatif entre des projets ou des mesures hétérogènes. Dans le cadre de l'évaluation, l'analyse multicritère est plutôt un outil de l'évaluation ex ante. Elle est plus particulièrement utilisée dans l'élaboration des choix stratégiques d'intervention.

Dans le cadre de l'évaluation ex post, l'analyse multicritère peut contribuer à l'évaluation d'un programme ou d'une politique en appréciant les effets des actions réalisées au regard de plusieurs critères.

### **I.2.3. Principales utilisations**

Parallèlement au développement de l'outil, ses formes d'utilisation ont évolué. L'analyse est dorénavant principalement utilisée pour fournir aux décideurs des outils leur permettant de progresser dans la résolution de problèmes décisionnels faisant intervenir plusieurs points de vue, même s'ils sont contradictoires. (MAYSTRE Lucien,1999)

## **I.3. Principales méthodes multicritères d'aide à la décision**

### **I.3.1 Méthodes d'agrégation selon l'approche du critère unique de synthèse**

Selon Roy cette approche est la plus classique. Les méthodes appartenant à cette catégorie sont généralement désignées sous le nom des méthodes d'agrégation complète. Elles consistent à agréger l'ensemble des critères, de manière à obtenir une fonction critère unique qui synthétise cet ensemble. Ainsi, cette fonction à optimiser, qui peut être par exemple une fonction d'utilité ou de valeur, agrège les préférences locales, au niveau de chaque critère ou attribut. (G. BERNARD M. L. BESSON)

a) TOPSIS : Technique de classement par similarité avec la solution idéale

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) est une méthode dont le but est de pouvoir classer par ordre de choix un certain nombre d'alternatives sur la base d'un ensemble de critères favorables ou défavorables. Cette méthode s'inscrit dans les techniques utilisées dans le domaine d'aide à la décision multicritères (MCDM = Multiple Criteria Decision Making). Elle a été développée par Hwang et Yoon en 1981. (YEZZA,2017)

b) SMART : Technique simple de notation multi-attributs

Cette méthode, développée par Edwards en 1971, consiste à utiliser la forme additive pour l'agrégation des évaluations sur les différents critères. Cette approche a été justifiée par le fait que dans certains cas (peu ou pas d'interactions entre les actions envisagées) on obtient d'aussi bonnes approximations avec la forme additive qu'avec d'autres formes non linéaires qui sont beaucoup plus complexes.

c) SAW : Pondération additive simple

La pondération additive simple (SAW) est une procédure multi-attributs basée sur le concept de la somme pondérée. Le système recherche une somme pondérée de l'évaluation de la performance de chaque alternative sur tous les critères alternatifs. Alternative sur tous les critères alternatifs. Le score le plus élevé sera la meilleure alternative et elle sera recommandée. Cette méthode peut être utilisée pour soutenir le système d'information géographique avec des opérations de superposition opérations (IBRAHIME).

d) AHP : Processus de hiérarchisation analytique

La méthode AHP est une méthode adaptée aux problèmes de décision multicritères c'est-à-dire comportant plusieurs solutions satisfaisant un ensemble de critères. L'approche de la méthode consiste à simplifier le problème en le décomposant en un système hiérarchique. Thomas Saaty est à l'origine de cette méthode et l'a créé dans les années 1970. (XLSTAT)

e) MAVT : Théorie de la valeur des attributs multiples

La méthode MAVT, développé par Keeney et Raifa en 1976, repose sur l'idée fondamentale suivante : tout décideur essaie inconsciemment (ou implicitement) de maximiser une fonction  $V = V [g_1, \dots, g_n]$  qui agrège tous les attributs. La particularité de cette méthode réside dans l'idée de construction d'une fonction de valeur partielle pour chaque attribut. La meilleure action sur un attribut aura une valeur partielle (par rapport à l'attribut étudié) égale à 1 et la pire des actions aura une valeur partielle égale 0.

f) MAUT : Théorie de l'utilité des attributs multiples

Méthode développée vers la fin des années 60 par Ralph Keeney et Howard Raiffa

- Cherche à mesurer l'utilité totale qui peut être tirée de chacune des actions potentielles
- Elle est obtenue en combinant les utilités élémentaires ou partielles que présentent cette action aux yeux des différents critères. (NADIA LEHOUX)

g) UTA : Théorie de l'utilité Additive

La méthode UTA, développé par Jacquet-Lagrange et Siskos en 1982, se base sur l'idée suivante : nous supposons que le décideur connaît bien un sous ensemble d'actions A'. Nous cherchons à estimer la fonction d'utilité (ayant une forme additive) en s'approchant le plus possible des jugements portés par le décideur sur le sous-ensemble A'.

### **I.3.2 Méthode d'agrégation partielle : approche de surclassement de synthèse**

**Promethee** : Méthode d'organisation du classement des préférences pour l'évaluation de l'enrichissement

PROMETHEE est une famille de méthodes d'aide à la décision multicritère développée en Belgique. Depuis 1983, les méthodes PROMETHEE ont connu de nombreuses évolutions à l'initiative de leurs auteurs Jean-Pierre Brans et Bertrand Mareschal de l'Université Libre de Bruxelles et de la Vrije Universiteit Brussel.

#### a) Electre I : Élimination et Choix Traduisant la Réalité

Cette méthode, inventée par Roy en 1968, relève de la problématique de choix ( $P.\alpha$ ). Elle vise à obtenir un sous-ensemble  $N$  d'actions tel que toute action qui n'est pas dans  $N$  elle est surclassée par au moins une action de  $N$ .  $N$  est appelée le noyau du graphe de sur classement : c'est le siège des actions non surclassées. Ce sous-ensemble (qu'on rendra aussi petit que possible) n'est pas donc l'ensemble des bonnes actions, mais c'est l'ensemble dans lequel se trouve certainement le meilleur compromis cherché.

#### b) Electre II

Electre II a été mise au point en 1973. Cette version relève de la problématique de rangement  $P.\gamma$  (la procédure d'investigation est une procédure de classement). Elle vise à ranger les actions de la meilleure à la moins bonne.

#### c) ELECTRE III

Cette version, mise au point en 1978, relève de la problématique de rangement  $P.\gamma$  (procédure de classement). Son but est de classer les actions potentielles, depuis les "meilleures" jusqu'"aux" moins bonnes", la méthode s'appuie sur la définition d'une relation de sur classement  $S$  permettant de comparer deux actions  $a$  et  $b$  distincts. (HADJADJ)

### **I.3.3 Méthodes d'agrégation locale : approche du jugement local interactif**

#### a) PLM : Programmation linéaire multicritère

Un programme linéaire multicritère en nombres entiers est constitué d'un système de contraintes linéaires définissant un domaine discret de solutions réalisables et d'un ensemble de fonctions linéaires à maximiser ou à minimiser dénotant des objectifs concrets. Le problème consiste à déterminer toutes les solutions réalisables efficaces entières. (KAHIL.2011)

## b) STEM : Step Method

STEM est la première méthode interactive proposée par Benayoun et al. en 1971 (40), et qui est très utilisée en pratique. Cette méthode tente de minimiser, par rapport au point de mire, une “distance pondérée augmentée de Tchebycheff”. (HADJADJ.2017)

## **I.4 Méthode AHP ; (Analytic Hierarchy Process)**

### **I.4.1 Définition de la méthode AHP**

La méthode AHP (Analytical Hierarchy Process) inventée par le mathématicien (Thomas Lorie Saaty) fait partie de la famille de méthodes multicritères d’aide à la décision MCDM (Multicriteria Decision-Making) [Saaty, 1987], [Reza et al. 2011]. AHP est une puissante et flexible méthode d’aide à la décision appliquée pour la résolution de problèmes simples ou complexes dans de nombreuses situations.

La méthode AHP représente l’une des méthodes la plus connue et la plus utilisée dans l’analyse multicritères, elle permet aux décideurs d’évaluer les poids relatifs aux différents critères au lieu de donner les critères de manière intuitive en se basant sur les comparaisons par paire entre tous les éléments du même niveau afin de leur attribuer un poids final de plus c’est une méthode dite compensatoire car elle assume une agrégation complète entre les critères.

C’est une méthodologie visant la résolution de problèmes avec plusieurs alternatives en appliquant plusieurs critères de décision simultanément. Elle est systématique, flexible et simple, et est utilisée fréquemment par les chercheurs et les praticiens afin de comparer plusieurs objectifs ou alternatives. (BESSEDIK.2018)

### **I.4.2 Caractéristiques de la méthode AHP**

- Unités de mesures : peuvent être qualitatives ou quantitatives, des valeurs relatives ou absolues pour établir des priorités.
- Structure hiérarchique : qui permet de trier les éléments du système dans différents niveaux et dans de groupes à caractéristiques similaires.
- Interdépendance : qui permet de considérer les éléments du système sans insister dans un raisonnement linéaire.

- Consistance : une cohérence qui permet de garder une logique des jugements utilisés pour déterminer les priorités.
- Synthèse : permettant d'obtenir une appréciation générale de la désirabilité de chaque alternative.
- Identification des priorités : permet de considérer la priorité relative de chaque critère pour ainsi obtenir la meilleure alternative selon les objectifs identifiés.
- Unicité : une flexibilité qui permet son utilisation dans un éventail varié de problèmes non structurés. (Mohammed Cherif.2015)

### I.4.3 Les étapes de l'application

Nous allons détailler dans ce qui va suivre les différentes étapes de la méthode AHP (voir la **Figure.I.1**).

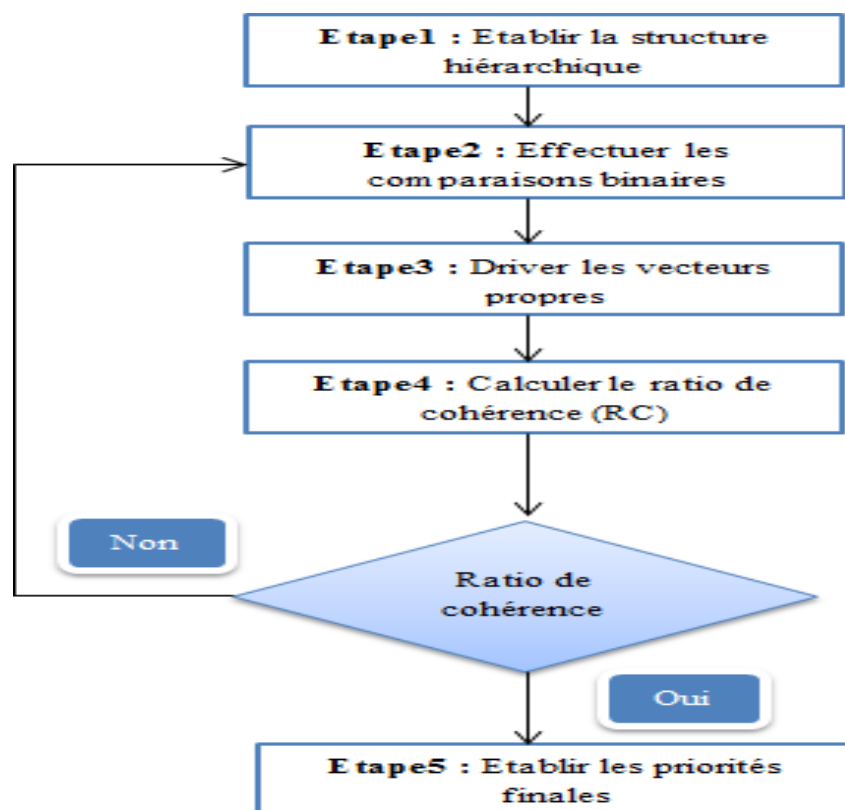


Fig.I.1 : Les étapes de l'application.

#### Étape 1 : Etablir la structure hiérarchique

La première étape consiste la décomposition du problème complexe en une structure hiérarchique à travers des niveaux qui sont :

Niveau 0 : Définir l'objectif cible.

Niveau 1 : Définir les critères de décision ou d'analyse.

Niveau 2 : Définir les caractéristiques des critères, chacun à son tour, ou l'ensemble d'options sous étude.

La figure.I.2 donne un aperçu sur la hiérarchie d'un problème.

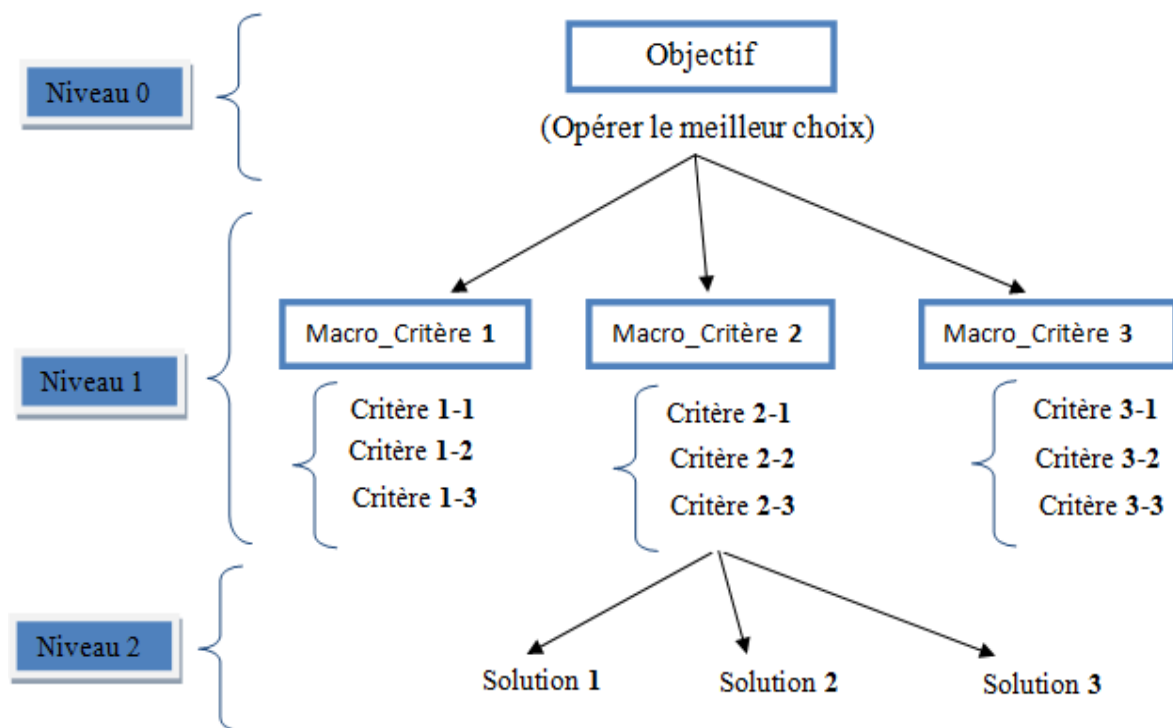


Fig.I.2 : La hiérarchie du problème.

## Étape 2 : Effectuer les combinaisons binaires

Cette étape consiste à étudier les points suivants :

- Comparer l'importance relative de tous les éléments appartenant à un même niveau de la hiérarchie pris deux par deux, par rapport à l'élément du niveau immédiatement supérieur.
- configurer une matrice carrée réciproque formée par les évaluations ( $K \times K$ ),  $K$  étant le nombre d'éléments comparés, nous obtenons un exemple de matrice (voir exemple).

$a_{ij}=1$  et

$a_{ij}=a_{ji}$  avec

$a_{ij}=1/a_{ji}$  (valeur réciproque)

Tableau.I.1 : Exemple d'une matrice de comparaison par paire.

	A1	A2	A3
A1	1	3	6
A2	1/3	1	2
A3	1/6	1/2	1

Tableau.I.2 : Echelle de Saaty [Fiat, 2007].

Pondération	Degré de préférence
1	Importance égale
2	Importance faible
3	Importance assez modérée
4	Importance modérée
5	Importance assez forte
6	Importance forte
7	Importance très forte
8	Importance extrême
9	Importance capitale

### Étape 3 : Déterminer les vecteurs propres

La détermination des priorités des éléments de chaque matrice se fait par la résolution du problème de vecteurs propres. Calculer l'importance relative de chacun des éléments de la hiérarchie à partir des évaluations obtenues à l'étape précédente, et l'importance relative des différents critères est exprimée par les valeurs du vecteur propre normalisé à 1.0 Plus grande est cette valeur et plus important est le critère correspondant.

### Étape 4 : Calculer le ratio de cohérence (RC)

Les réponses obtenues présentent souvent un certain degré d'incohérence. La méthode AHP n'exige pas que les jugements soient cohérents ni transitifs, par contre Saaty a défini un indice

de cohérence (IC). Plus l'indice de cohérence devient grand et plus les jugements de l'utilisateur sont incohérents et vice versa. IC est ensuite comparé à des valeurs critiques obtenues par simulation. Saaty a défini, par expérimentation, un ratio de cohérence comme le rapport de l'indice de cohérence calculé sur la matrice correspondant aux jugements du décideur et de l'indice aléatoire (IA) d'une matrice de même dimension. Une idée est donnée dans le tableau.I.3

Tableau.I.3 : Les indices de cohérence aléatoire [Saaty, 1984].

N = nombre de critère	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Le ratio de cohérence est donné par la formule suivante :

$$RC = IC / IA$$

RC : est le ratio de cohérence. IA : est un indice aléatoire.

IC : est l'indice de cohérence.

L'indice de cohérence aléatoire est calculé par cette formule :

$$IC = (\lambda_{\max} - K) / (K-1)$$

Avec : K est le nombre d'élément comparé

$\lambda_{\max}$  est la valeur propre maximale.

Le ratio de cohérence peut être interprété comme la probabilité que la matrice soit complétée aléatoirement. La cohérence globale d'appréciation est évaluée au moyen de ce ratio de cohérence RC. Toujours selon Saaty, la valeur de ce dernier doit être au plus égale à 10%. Dans le cas où cette valeur dépasse 10%, les appréciations peuvent exiger certaines révisions.

Une fois calculé, le ratio de cohérence (RC) final doit être vérifié selon le niveau acceptable proposé par Saaty (1984) en fonction de la taille de la matrice. Lorsque le ratio de cohérence dépasse la valeur respective du tableau ci-dessous, on considère que les jugements sont trop

aléatoires. Il faut alors réviser l'analyse afin de parfaire les jugements et ainsi, obtenir un ratio de cohérence final qui soit acceptable. Les valeurs données dans le (**tableau.I.3.**) montrant les ratios de cohérence acceptables par Saaty.

Taille de la matrice (n)	Ratio de cohérence acceptable
3	0,05
4	0,08
5 et +	0,10

Tableau.I.4 : Les ratios de cohérence acceptable [Saaty, 1984].

### **Étape 5 : Etablir les priorités finales**

Le principe de la synthèse des propriétés est de multiplier les priorités locales de chaque niveau par les priorités globales du niveau père pour obtenir les priorités globales de toute la hiérarchie par la suite on ajoute les priorités globales du niveau le plus bas (généralement ce sont les alternatives). (Imène BESSEDIK.2018)

#### **I.4.4 Avantage de la méthode AHP :**

- Sa capacité de structurer un problème complexe, multicritère, multi personne et multi période de façon hiérarchique,
- La comparaison binaire des éléments (alternatives, critères et sous critères),

Et la facilité de son support informatique, le logiciel Expert Choice. (GAELLE GUESDON.2011)

# **Chapitre II : Notions sur l'aléa Inondation**

## **Chapitre II : Notions sur l'aléa Inondation**

### **II.1. Introduction :**

Les zones inondables sont soumises à différents types d'inondation, dont les caractéristiques influencent le déroulement des crises et l'ampleur des impacts humains et économiques. Le risque n'est pas le même sur les différents territoires exposés puisque ni l'aléa ni la vulnérabilité sont les mêmes ; les crues surviennent de manière plutôt lente sur les bassins plats alors qu'elles se produisent de manière extrêmement rapide et brutale sur les bassins pentus. Aussi les inondations ne provoquent pas de catastrophes susceptibles de marquer les esprits si les zones inondables n'étaient pas ou peu occupées par l'homme.

Aussi les inondations ne provoquent pas de catastrophes susceptibles de marquer les esprits, si les zones inondables n'étaient pas ou peu occupées par l'homme. Le but principal de ce chapitre est la présentation des notions et concepts Fondamentaux de l'aléa inondation.

### **II.2. Risques majeurs :**

Les types de risques auxquels chacun de nous peut être exposé sont regroupés en cinq familles :

- **Risques naturels** : avalanche, feu de forêt, inondation, mouvement de terrain, cyclone, tempête, séisme et éruption volcanique.
- **Risques technologiques** : d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriels, nucléaire, biologique, rupture de barrage...
- **Risques de transports collectifs** (personnes, matières dangereuses) : sont des risques technologiques, on en fait un cas particulier car les enjeux varient en fonction de l'endroit où se développe l'accident.
- **Risques de la vie quotidienne** (accidents domestiques, accidents de la route...)
- **Risques liés aux conflits. (BOURAHLA)**

Le risque majeur peut être défini comme la menace sur l'homme et son environnement direct, sur ses installations, la menace dont la gravité est telle que la société se trouve absolument dépassé par l'immensité du désastre. Alors seules les trois premières catégories font partie de ce risque majeur qui est caractérisé :

\_ **Une faible fréquence** : L'homme et la société peuvent être d'autant plus enclins à l'ignorer que les catastrophes sont peu fréquentes.

\_ **Une énorme gravité** : Nombreuses victimes, dommages importants aux biens et à l'environnement. (BOURAHILA)

Dans le domaine de la gestion des risques, les probabilités d'occurrence des phénomènes naturels sont appelés des aléas ; étudier les aléas c'est chercher à caractériser ces phénomènes selon les principaux paramètres suivants : leur fréquence de survenance, intensité destructrice et leur étendue.

### **II.3. Inondation :**

#### **II.3.1. Définition :**

Une inondation est une submersion temporaire, naturelle ou artificielle, d'un espace par des eaux douces ou salées d'une zone généralement émergée. Cette submersion peut se faire lentement ou brutalement et se répéter de manière régulière ou bien être plus rare. (BACHI .M, 2011)

Le terme inondation est d'acceptation plutôt topographique ou géomorphologique. Il désigne le débordement d'un cours d'eau de son lit mineur, mais aussi le remplissage d'une cuvette topographique par les eaux de ruissellement local. Ce type d'inondations pluviales se distingue par la vitesse de l'eau, le volume d'eau écoulé et la hauteur d'eau. Ces paramètres sont essentiels pour comprendre les dommages et instaurer des politiques de prévention efficaces. (BACHI .M, 2011)

#### **II.3.2. Connaissance de l'aléa « inondation » :**

L'aléa semble le terme le plus adéquat pour définir le phénomène physique, naturel et non maîtrisable, d'occurrence et d'intensité donnée .Cette définition révèle le caractère hasardeux du risque et le faire différencier de sa définition linguistique qui le présente comme un risque et non pas un de ses composantes (G. BERNARD).

En matière d'inondation, leur intensité s'exprime principalement pour un endroit donné, par la hauteur et la durée de submersion ainsi que la vitesse du courant. Ces paramètres sont fournis, avec une précision plus ou moins grande, pour l'ensemble de la zone inondable par une crue de fréquence donnée.

Pour mieux comprendre l'aléa inondation, on commentera les notions élémentaires suivantes : Les principaux paramètres caractérisant l'aléa inondation, les bassins versants, les paramètres fondamentaux du cours d'eau, et la crue d'inondation. (MADI RIDA.2014)

#### II.4. Définition du concept du risque :

Le concept de risque relatif aux inondations est en soi assez complexe puisque qu'il ne peut se définir qu'en considérant simultanément, un phénomène physique (en l'occurrence, la présence d'eau), et une utilisation sociale de ce même espace qui souffre de cette présence d'eau. Le risque est défini comme résultant de deux facteurs réputés indépendants que sont ; l'aléa et la vulnérabilité. (DJEHALI.2015)

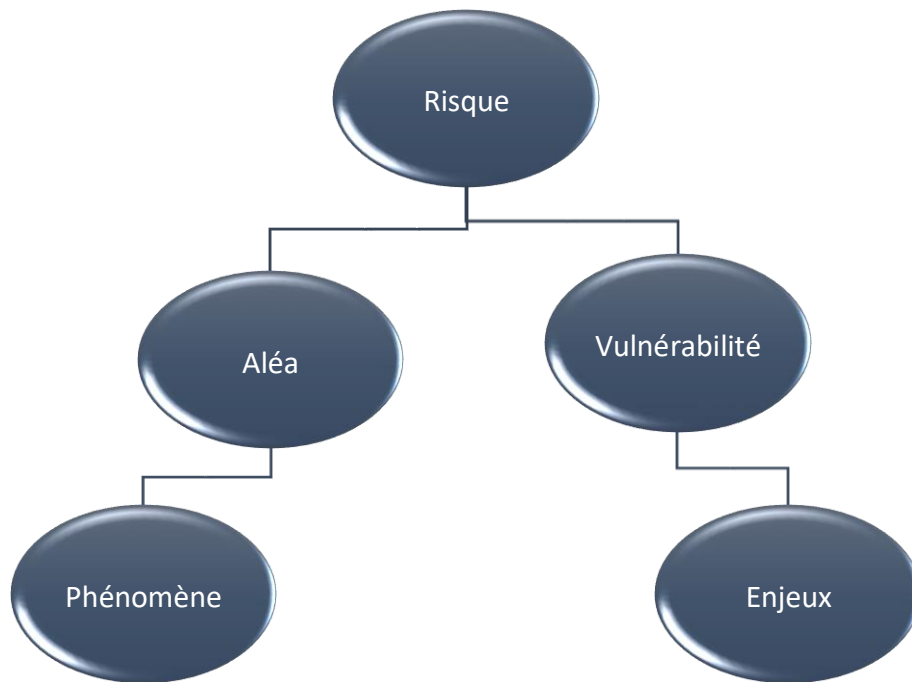


Fig.II.1 : Définition de risque des inondations

##### II.4.1 L'aléa :

Est défini comme lié uniquement au phénomène physique considéré, la crue fait l'objet de l'essentiel des travaux en hydrologie et hydraulique appliqués à la gestion des risques d'inondation. Il dépend du comportement hydrologique du bassin versant et du fonctionnement hydraulique du réseau hydrographique. Il peut être quantifié sur une

parcelle (avec une précision plus au moins bonne) grâce aux variables hydrologiques classiquement utilisées que sont la profondeur d'eau et la durée d'inondation, associée à une période de retour. Sur cette dimension probabiliste de l'aléa traduit la notion de fréquence ou de période moyenne de retour. (Gilard , 1998). (O. GILARD.2022)

#### **II.4.2 Définitions et porté de concept vulnérabilité :**

Encore aujourd'hui, on note l'absence d'un consensus quant à la définition de la vulnérabilité, sans doute liée à son utilisation dans une pluralité de disciplines scientifiques. Définissent la vulnérabilité comme étant la propension d'éléments exposés tels que les êtres humains, leurs moyens de subsistance et leurs actifs à subir des effets néfastes lorsqu'ils sont touchés par des événements dangereux. La vulnérabilité est donc liée aux susceptibilités, aux prédispositions, aux capacités d'adaptation et à la résilience.

Les susceptibilités représentent les facteurs de prédisposition des enjeux face au risque, alors que la vulnérabilité constitue une situation préexistante à l'évènement qui induit le risque, mais elle est également liée au rétablissement post-catastrophe.

La vulnérabilité peut donc être perçue ou appréhendée selon plusieurs dimensions : physique, économique, sociale et environnementale. (OPEN EDITION.2020)

#### **II.5 L'organisation du risque d'inondation :**

L'inondation est un phénomène spatial, qui peut s'étendre sur de vastes territoires géographiques, résultant de l'alternance des hautes et basses eaux d'une rivière. De fait, la gestion de ce risque s'organise également de façon cyclique, autour de trois temps principaux : avant, pendant et après. Avant l'inondation, les processus naturels sont abordés de façon rationnelle, dépassionnée et déconnectée des questions d'évaluation financière. Les outils de modélisation, mis au point pendant cette phase, permettent de tester les capacités de réaction des services d'intervention, d'évaluer l'impact des aménagements de protection...C'est avant l'inondation, quand le temps ne constitue pas une contrainte majeure, dont les moyens d'action peuvent et doivent être évalués pour améliorer l'efficacité des décisions. Le temps le plus marquant, à différents chefs, est évidemment l'inondation en elle-même, autrement dit, la catastrophe, où chaque instant et chaque décision comptent car des biens et des personnes sont en jeu. Une des préoccupations majeures est alors de connaître l'ampleur de l'évènement pour permettre le dimensionnement et le déploiement des moyens d'action. Après l'inondation, le problème

principal est de tirer des enseignements et des conclusions, de mesurer l'impact essentiellement en termes financiers et sociaux. Les moyens mis en œuvre et leurs interventions sont évalués pour améliorer les actions futures (Belloula, 2008). (BOURAHLA.2020)

## **Chapitre III : Présentation de la région d'étude**

## Chapitre III : Présentation de la région d'étude

### III.1 Situation géographique :

La Wilaya de Ghardaïa, l'une des plus importantes Wilaya du sud de l'Algérie est assise sur une superficie de 86.560 km<sup>2</sup> ( Saoucha, 2009). Situé dans la partie septentrionale et centrale du Sahara entre 2° et 7° de longitude Est et 35° et 36° de latitude Nord, le territoire de la Wilaya de Ghardaïa s'inscrit exclusivement dans l'espace saharien (dorsale du M'Zab, Hamada, Grand Erg Occidental,...). La wilaya de Ghardaïa est limitée au Nord par la wilaya de Laghouat et Djelfa, au Sud par la wilaya de Tamanrasset, à l'Est par la wilaya d'Ouargla, à l'Ouest par les wilayas d'Adrar et El-Bayad.

Le bassin versant de Oued Mzab est localisée dans la partie centrale du Sahara septentrional aux portes du désert dont les altitudes varient de 416 à 774 m. C'est un bassin qui occupe une superficie de 1665 km<sup>2</sup>. Sa longitude et sa latitude s'étendent de 3° 0', à 3° 52' Est et de 32° 24' à 32° 48', Nord. (TINA.2015)

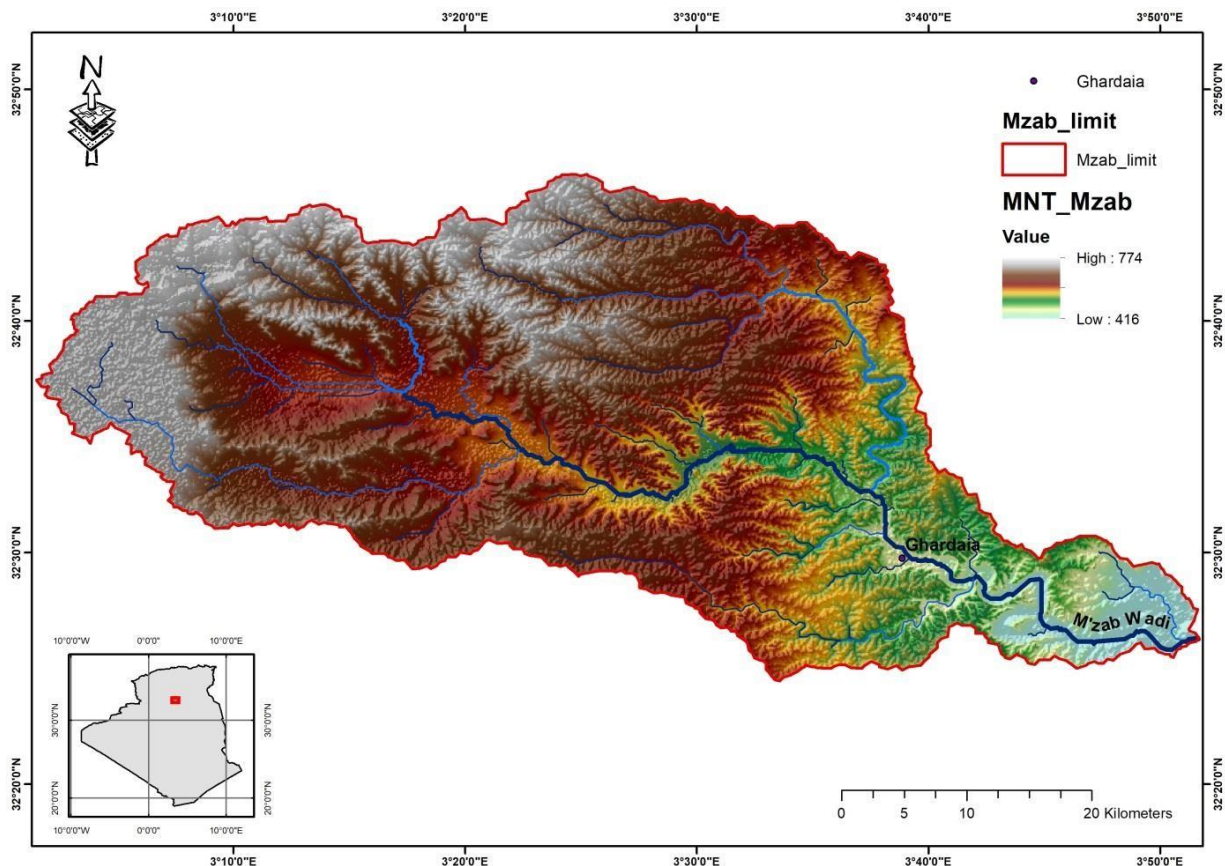


Fig.III.1 : Carte situation géographique de la région d'étude(ArcGIS)

Administrativement, la région du Mzab est limitée au Nord par les wilayas de Djelfa et Laghouat, à l'Est par les wilayas de Ouargla et Adrar, à l'Ouest par la wilaya d'El Bayadh et au Sud par la wilaya de Tamanrasset.

Cette vallée est mise en valeur par les Mozabites ; sept oasis (heptapole) ont été créés dont cinq (pentapole) sur le tracé de l'oued M'Zab et proches les unes des autres : Ghardaïa, Mélika, Ben-Isguen, Bounoura, et El-Atteuf. Les deux autres palmeraies, plus excentriques, sont au Nord. Il s'agit de Berriane et Guerrara. (TINA,2015)

### III.2 Contexte géologique

Au Sahara algérien, les travaux de (Busson 1972 ; FABRE 1976) constituent les références de base pour une bonne compréhension de la géologie du Sahara algérien. Toutefois, un complément d'information est recherché dans les différentes cartes géologiques couvrant cette région (OSS 2003). Des études récentes sont réalisés par SONATRACH et ENAGEO, ces auteurs ont travaillé et publiés des articles et des ouvrages sur la géologie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional, surtout dans le cadre de la géologie pétrolière. La région de Ghardaïa fait partie du bassin sédimentaire du Sahara Nord-Est Septentrional.

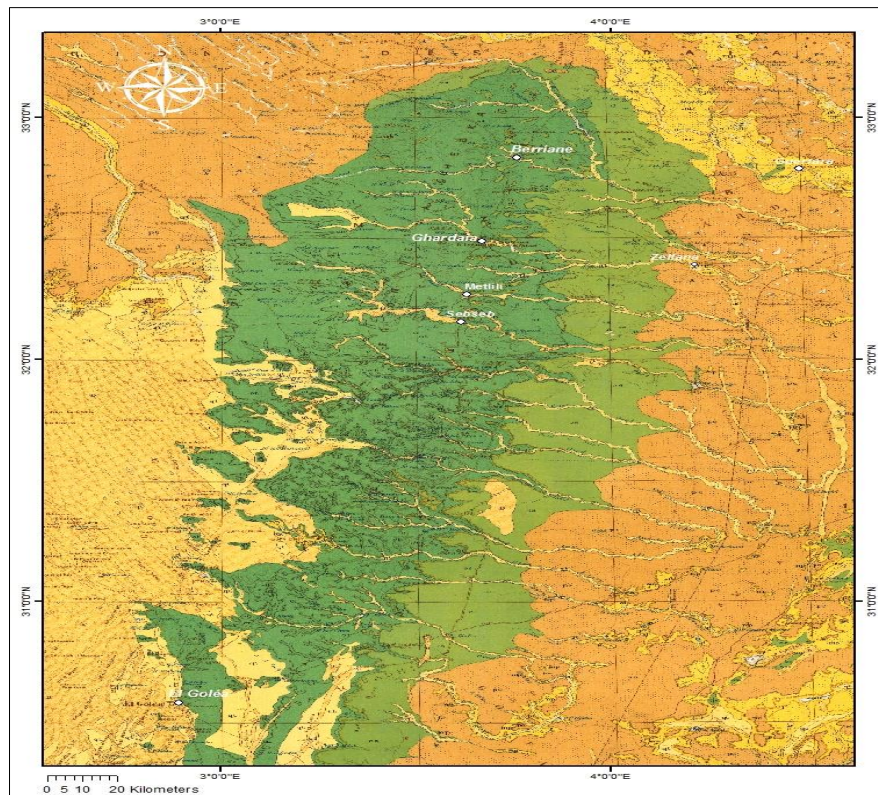


Fig.III.2 : Carte géologique de la dorsale du M'zab (SCG, 1951)

La wilaya de Ghardaïa est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas - Sahara, les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur. Du point de vue lithologique, ces affleurements sont de type :

- Argiles verdâtres et bariolées à l'Ouest et le Sud-Ouest attribués au Cénomaniens,
- Calcaires massifs durs ; blanc grisâtre au centre, attribués au Turonien,
- Calcaires marneux et argiles gypseuses à l'Est, attribués au Sénonien,
- Sables rougeâtre consolidés à Est et au Nord -Est attribués au Mio -Pliocène,
- Alluvions quaternaires tapissant le fond des vallées des oueds.(AHMED,2019)

### **III.3 Réseau hydrographique de la région**

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont: Oued Sebeş; Oued Maithili; Oued M'Zab; Oued N'sa et Oued Zébrer. L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab.

Ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement est sporadique, il se manifeste à la suite des averses orageuses que connaît la région.

L'oued M'Zab est limité par deux grands oueds : Oued N 'Sa au Nord et Oued Maithili au Sud. La superficie du bassin du M'Zab est de 1665 km<sup>2</sup> environ. Ses contours sont imprécis dans la partie orientale. L'oued M'Zab coule sensiblement d'Ouest en Est sur 320 km de la région de Boma -Rouïlla, à 750 m d'altitude (où il prend sa source sous le nom d'Oued El-Abid), à la Sekhmet Safiouna qui est à la cote 107 m avec une pente assez forte entre Ghardaïa et Bounoura .

Les écoulements d'Oued M'Zab sont perturbés au niveau des villes mozabites par une série de barrages. Ils font partie du système hydraulique mozabite qui a pour but :

- de collecter les eaux qui ruissellent accidentellement sur les pentes abruptes qui bordent les palmeraies ;
- de dériver dans les jardins une partie des écoulements accidentels au moyen des barrages de dérivation et de canaux distributeurs;
- D'arrêter l'eau et de lui permettre à s'étaler par des barrages de retenue et au même temps remplir- les puits qui vont alimenter la nappe superficielle (AHMED,2019).

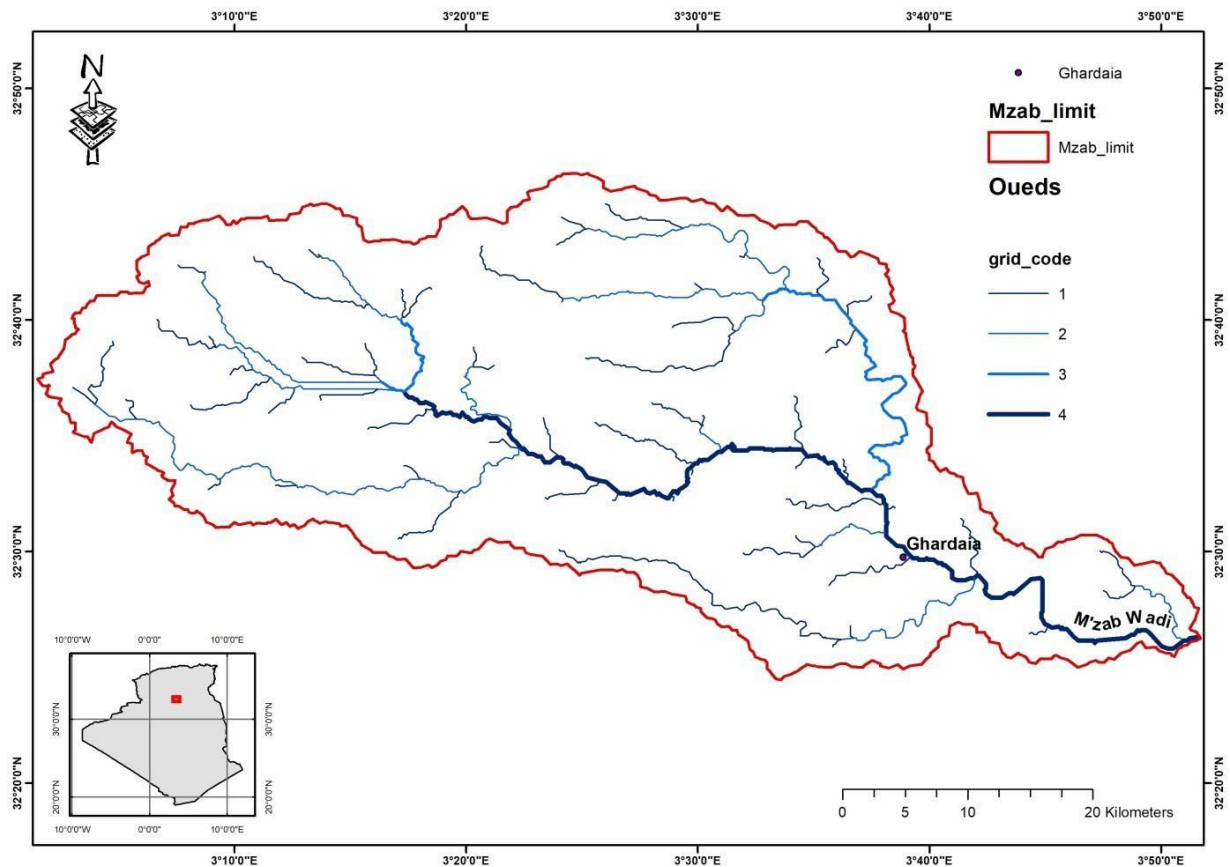


Fig.III.3 : Réseau hydrographique du bassin versant de Oued M'Zab(ArcGis)

Le système d'irrigation se fait par submersion traditionnelle (seguias), rare sont ceux pratiquant le mode d'aspersion et la goutte à goutte. D'autres activités portant notamment sur le négoce, l'artisanat des tapis, ainsi que des petites et moyennes industries (verres, textiles, agroalimentaires, cosmétiques...etc.).

Les oasis sont localisées principalement en amont (Touzouz, Bouchen) et en aval de l'oued M'Zab (Djaoua, Aouleouel), ainsi que le long des deux principaux affluents de la vallée du M'Zab ; oued N'tissa et oued Azouil. Les zones mixtes (urbanisme et oasis) représentent 11% de la surface totale soit 3,83 hectares. Les zones urbaines sont localisées principalement, autours des vieux ksars (pentapole) et s'étendent progressivement vers les oasis environnantes. En aval de la vallée une zone inoccupée de 2,66 hectares correspond à la zone d'épandage de l'oued M'Zab, elle représente 7% de la surface totale de la vallée. (ahmad.2019)

### III.4 Contexte hydro-climatologique : (HADJ.2017)

#### III.4.1 Station météorologie de la ville de Ghardaïa

La région Ghardaïa se caractérise par un climat très sec la rareté des précipitations rend les terres très hostiles. Pour traiter le volet climatique, nous avons utilisé seulement les données de la station Ghardaïa. Les données utilisées se rapportent à la période allant de l'année 1995 jusqu'à l'année 2015 soit 20 ans d'observation (O.N.M 2018).

Cette station météorologie est localisée à 15 km à l'Est de la ville de Ghardaïa .

Tableau.III.1 : Coordonnées géographiques de la station de Ghardaïa (ONM)

Station	Période :	Altitude	Latitude	Longitude
Ghardaïa	1995/2015	468m	35°36'N	03 48E

#### III.4.2 La température

La température est un élément fondamental du climat sa variation influe sur la transformation de l'eau en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous -sol. Elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux.

Tableau.III.2 : Températures moyennes mensuelles (station de Ghardaïa , 1995 -2015)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Juin	Juil.	A
<i>T max</i> °C	34,9	29,1	21,7	17,1	16,2	18,8	22,7	26,9	32,2	37,5	40,7	40,1
<i>T Moy</i> °C	28,7	23,2	16,3	12	10,9	13,1	16,6	20,5	25,6	30,7	33,9	33,5
<i>T min</i> °C	22,5	17,3	10,9	6,9	5,6	7,3	10,6	14,2	19,1	23,9	27	26,9

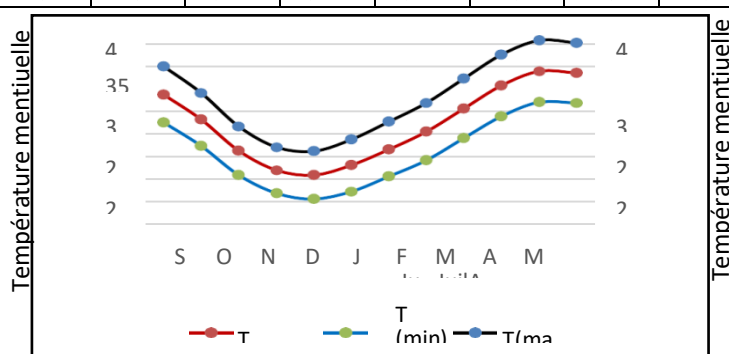


Fig.III.4 : Variation des températures moyennes mensuelles

Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver. La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre.

A travers la figure.III.4, nous observons que :

- Les températures moyennes les plus basses sont enregistrées au cours du mois de janvier et les plus élevées au mois de juillet ;
- Les températures moyennes des maxima les plus faibles sont enregistrées au mois de janvier (16.2°C) et les plus importantes au mois de juillet (40.7°C)
- Les températures moyennes des minima varient de 5.6°C (janvier) à 27°C (juillet)
- L'amplitude thermique entre le mois le plus froid(janvier)et le mois le plus chaud (juillet) est très importante avec une valeur approximative de 35 °C

### III.4.3 Les précipitations

Les précipitations entrent dans le bilan hydrogéologie et pour estimer la réserve d'eau dans la nappe superficielle et le régime des cours d'eau dans le bassin. Elles sont exprimées généralement en hauteur de lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm).

#### III.4.3.1 Les précipitations moyennes mensuelles :

Les précipitations sont en général e faibles caractérisant les climats arides. Les valeurs maximales son enregistrées au mois de Septembre (18,1mm) et Janvier (13,3 mm), et la valeur le plus faibel a été enregistrées au mois de juillet (1mm). Ce qui explique la sécheresse de la région étudié e.

Tableau.III.3 : les précipitations moyennes mensuelles.

<i>Mois</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>J</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>Jui n</i>	<i>Ji</i>	<i>A</i>	<i>Année</i>
<i>P (mm)</i>	18,1	7,3	6,1	6,3	13,3	2,7	5,2	7,4	1,7	4,3	0,9	2,8	76,1

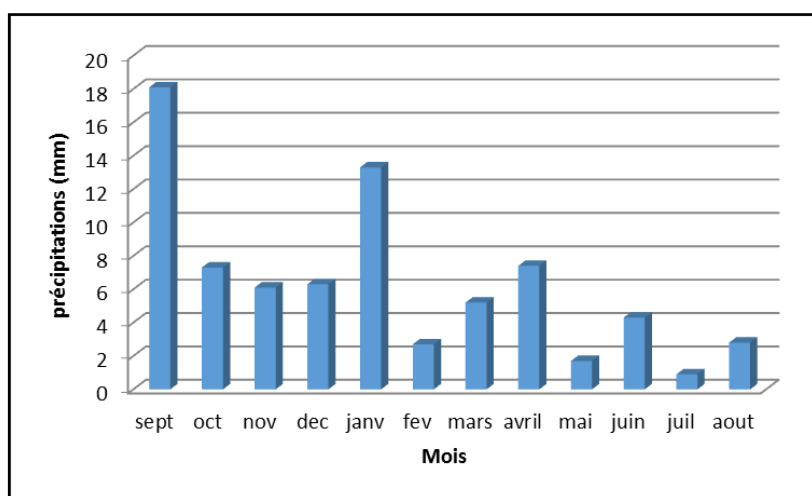


Fig.III.5 : Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation

### III.4.3.2 Les précipitations moyennes interannuelles

Le tableau.III.4 et la figure.III.6 ci-dessous montrent les variations interannuelles des précipitations.

Tableau.III.4 : Variations des précipitations moyennes interannuelles en mm

<i>Année</i>	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<i>Moyen</i>	115,56	67,4	90	78	64,8	21,6	52,2	105,3	182,2	45,5	150,2
<i>Année</i>	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	/
<i>Moyen</i>	67,9	24,7	215,2	58,4	65,9	65,5	22,4	54,8	19,5	29,5	/

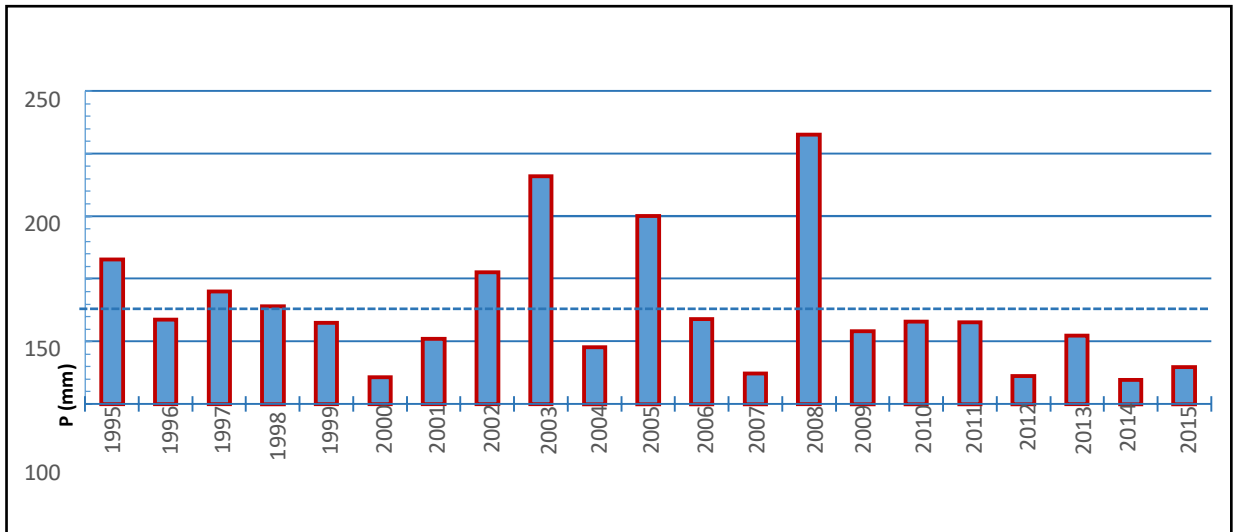


Fig.III.6 : Les variations des précipitations moyennes interannuelles (mm)

On remarque que la moyenne de précipitation annuelle est de 76mm, avec une grande divergence entre les valeurs. Les années les plus pluvieuses sont 2003, 2005 et 2008 avec un maximum de 215.2mm en 2008, et les années 1996 ,1997 et 1998 elles sont proches de la moyenne annuelle (76mm).

Aussi on observe des périodes à tendance plus sèche allant de 2009 jusqu'à l'année 2015, avec un minimum de 19.5 mm en 2014.

**III.4.3.3 Les précipitations moyennes saisonnières** : Le tableau.III.5 les variations des précipitations moyennes saisonnières nous montre que :

- Automne est la saisonne le plus pluvieux de41,4%
- L'Été le plus sec de 10,5%, et les deux autres saisons
- L'hiver et le Printemps sont de l'ordre de 29,3% et 18,8%.

Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Annuelle
<i>Automne</i>			<i>Hiver</i>			<i>Printemps</i>			<i>Été</i>			
31.5			22.3			14.3			8.0			76.1
41.4 %			29.3 %			18.8 %			10.5 %			100.0

Tableau.III.5 : Variations des précipitations moyennes saisonnières (1995 -2015)

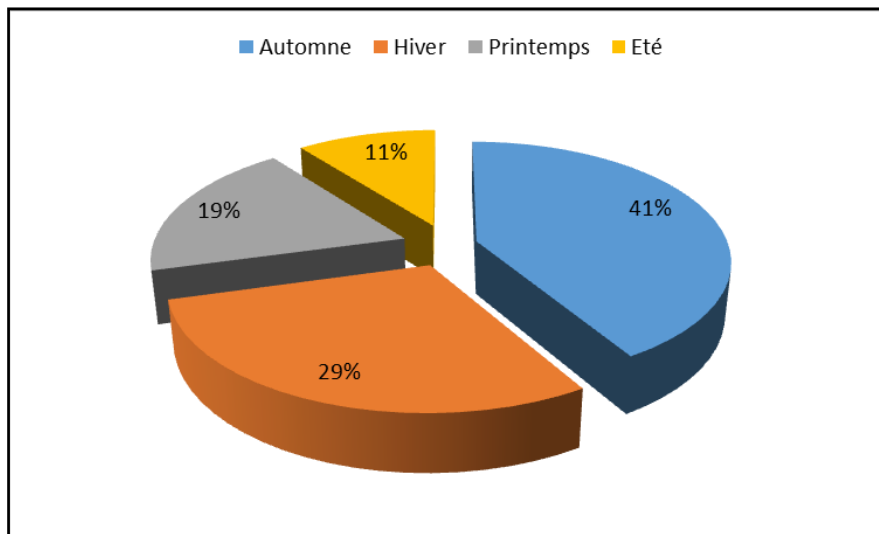


Fig.III.7 : Répartition des variations des précipitations moyennes saisonnières

#### III.4.4 Le vent

Le vent est un élément caractéristique du climat influant directement sur le climat d'une région et cette vitesse des vents qui influe sur l'évaporation des eaux par la surface de sol et des **végétaux**. La vitesse moyenne mensuelle des vents à la station de Ghardaïa période (1995 -2015) est 3,8 m/s.

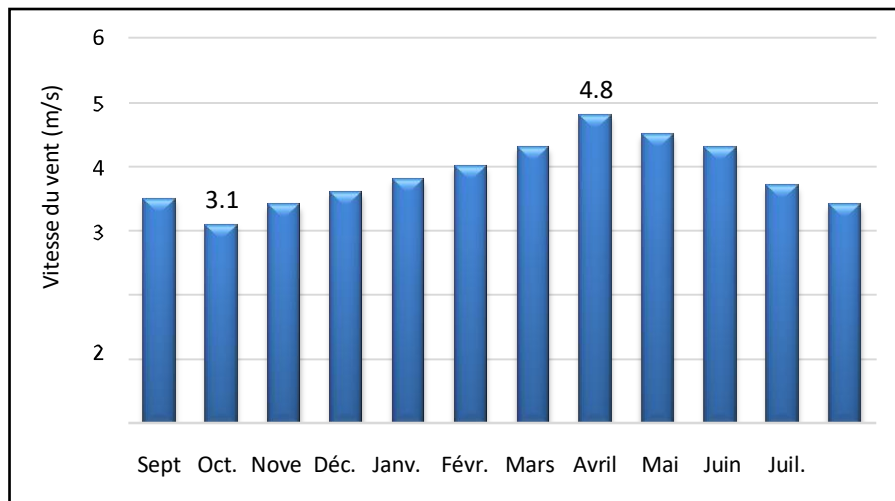


Fig.III.8 : Histogramme des vitesses moyennes mensuelles des vents.

Le sens dominant du vent est vers le Nord et le Nord-Est. Généralement, ils sont générés à cause des courants qui arrivent de la zone tropicale. Une valeur maximale au printemps de 4.8 m/s au mois d'avril. Et une valeur minimale en Automne au mois d'octobre 3.1 m/s.

### III.4.5 L'humidité :

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en (%), de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante. C'est un élément atmosphérique très important puisqu'il donne le taux de condensation de l'atmosphère.

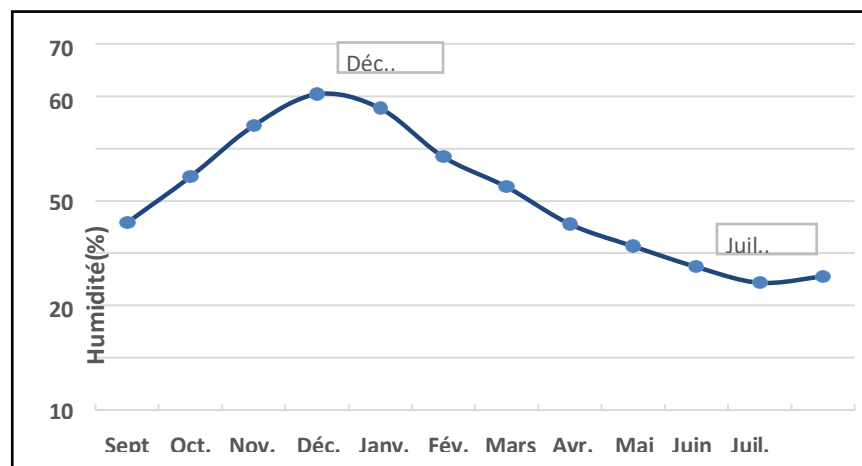


Fig.III.9 : Courbe des humidités relatives moyennes en (%)

La courbe de la figure.III.9 permet de distinguer deux parties :

- Augmentation taux d'humidité au la rentrée d'automne au mois septembre jusqu'a au printemps au mois mars
- Diminution du taux de l'humidité au mois d'avril jusqu'à la fin du mois d'aout.

En peut interpréter ces deux comportements par la relation proportionnelle de l'humidité avec la précipitation et inversement proportionnelle avec la température.

### III.4.6 Courbe Pluiothermique

La courbe pluiothermique permet de déterminer les périodes sèches et les humides. Selon Gaussen et Bagnouls : Pour la période sèche, la courbe des doubles températures passe au - dessus de celle des précipitations et Pour la période humide, la courbe des précipitations passe au-dessus des doubles températures

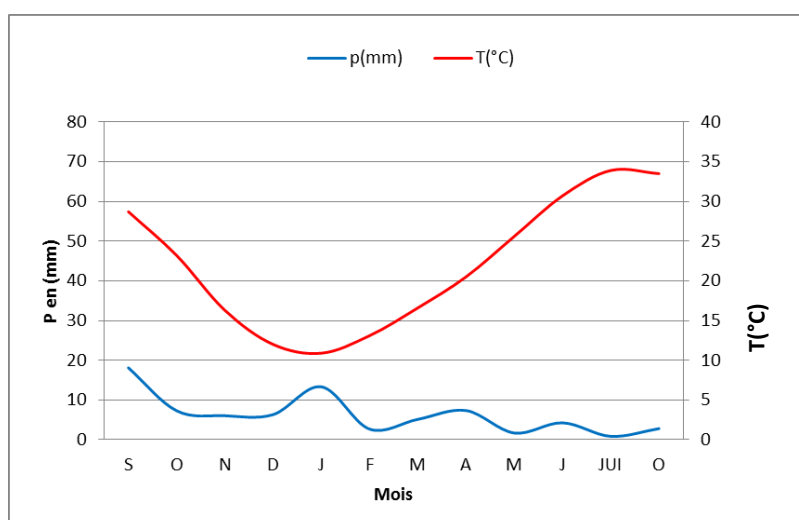


Figure.III.10 : Courbe pluiothermique de la station de Ghardaïa

Dans le cas de Ghardaïa les courbes ne se croisent pas, donc la région est dominée par une saison sèche durant toute l'année. Cela est caractéristique principale des régions situées dans un climat aride comme le nôtre. (HADJ.2017)

### **III.5 Description et l'architecture de la vallée de M'Zab :**

La Vallée du M'Zab a été considérée comme patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1982. Les monuments et sites ayant permis le classement de la vallée du M'Zab au Patrimoine Mondial de l'Unesco sont ; les ksour, les maisons traditionnelles, les mosquées, les minarets, les aires de prières et mausolées, les remparts, les tours, les systèmes de partage des eaux, les barrages, les jardins de la palmeraie, et les puits traditionnels.

L'Unesco décrit le M'Zab en ces termes : « Le paysage de la vallée du M'Zab, créé au Xème siècle par les Ibadites autour de leurs cinq ksour, ou villages fortifiés, semble être resté intact. Simple, fonctionnelle et parfaitement adaptée à l'environnement, l'architecture du M'Zab a été conçue pour la vie en communauté, tout en respectant les structures familiales. C'est une source d'inspiration pour les urbanistes d'aujourd'hui. (OULED,2016)

#### **III.5.1 Ouvrages de protection contre les crues de la vallée de l'oued M'Zab :**

Après la catastrophe de Octobre 2008, trois barrages de rétention temporaire (El Abiod, El Haimeur et Bou Brik) ont été construit à l'amont de la ville de Ghardaïa pour réduire les conséquences négatives des crues de l'oued M'Zab. Ces trois barrages devront pouvoir écrêter une crue de fréquence centennale, en relâchant un débit maximum fixé, compatible avec les apports des bassins versants intermédiaires et les aménagements aval ; ce rôle devra être assuré pendant une période de 50 ans sans dévasement des retenues. (MANSOUR,2014)

#### **III.5.2 La vallée du M'Zab : un site vulnérable au risque d'inondation :**

La dorsale du M'Zab est formée d'un plateau désertique ou hamada modelé par les calcaires durs du crétacé, vaste étendue pierreuse d'altitude variant entre 250 à 750 mètres légèrement inclinée d'Ouest en Est de 3%. Sa surface topographique est très fortement érodé par un réseau de cours d'eau appelé localement chebka et dont les principaux sont l'oued Mzab, oued Metlili, oued Seb Seb, oued N'sa et oued Zegrir. C'est dans la vallée du M'Zab où se concentre 60% des établissements humains de la région que la vulnérabilité aux inondations est la plus grande.

Les précipitations faibles et irrégulières inférieures à 100 mm présentent généralement un caractère torrentiel au printemps ou en automne. Le régime de crues n'a pas beaucoup changé au cours du 2-ème siècle. La vallée a été parcourue par des crues généralisées huit fois en 50 ans entre 1901 et 1950 (Capot Rey). Selon le même auteur, l'oued a coulé 11 fois en 30 ans à

Ghardaïa sur 79 km de son origine. Ce qui signifie que le réseau hydrographique est encore actif même avec moins de 100 mm de précipitations. Aujourd'hui des pluies même faibles alimente un ruissellement rapide qui échappe à l'évaporation et provoque des crues assez fréquentes dans les vallées.

La présentation rapide du cadre géographique dévoile la vulnérabilité du site occupé par l'agglomération de Ghardaïa édifiée à partir de noyaux des cinq ksour traditionnels soumis à un redoutable cycle d'inondations. Depuis longtemps la société mozabite s'est accommodée de cet aléa naturel, développant ses activités en tirant avantages des eaux de crues par l'élaboration d'un système de partage des eaux de crues et de protection contre les inondations. (MOHAMMED,2010)

Selon les données rapportées par Dubief (1953) et Teissier (1965), il y a eu 67 jours de crue dans l'Oued M'Zab durant quarante ans, entre 1921 et 1961 soit 1,6 jours de crue par an. Les crues sont irrégulièrement espacées et au cours de certaines années, nous comptons jusqu'à cinq mois ayant eu une ou plusieurs crues tandis que les périodes de sécheresse peuvent s'étendre sur plusieurs années.

Les écoulements sont plus ou moins importants, parfois catastrophiques comme le cas de la crue dévastatrice du mois d'Octobre de l'année 2008.

D'après Teissier (1965), les crues d'Oued M'Zab sont liées aux :

- Précipitations s'étendant sur la région de Laghouat et de Ghardaïa et ;
- Fortes pluies localisées sur la région de Ghardaïa. (DJELLOULI)

### **III.5.3 Inondations de Ghardaïa Oued M'Zab :**

Crues du 17/11/1980 (04 j de pluie ...98.8mm).

03/06/ 1991 Crue avec 1120m<sup>3</sup>/s avec des pertes matérielles et humaines (+100 personnes) un violent orage ayant détruit partiellement la digue d'Al Atteuf.

29 et 30/09/1994 Crue avec 151mm en h. un débit de 873m<sup>3</sup>/s.

15/06/2004 Violente crue en 15 mn. (DJELLOULI)

1 et 2 octobre 2008 : pluies exceptionnellement de 500 mm fortes de plus de 48 heures sur la région de Ghardaïa, causant la destruction du barrage qui protégeait la zone, entraînant l'inondation des divers cours d'eau de l'oued M'Zab provoquant des inondations qui

causèrent au moins 45 morts Des dizaines de blessés, des centaines de maisons et de routes détruites. Les pertes matérielles ont été estimées à 2500 millions de dinars, dont 2000 millions de dinars pour les infrastructures. (M. YAHIAOUI,2012)



Fig.III.11 : Les inondation de 01 octobre 2008 (avant et après)

**Chapitre IV : Analyse de la  
vulnérabilité au risque  
d'inondation dans le bassin versant  
de oued M'zab : application de la  
méthode AHP**

## **Chapitre IV : Analyse de la vulnérabilité au risque d'inondation dans le bassin versant de oued M'zab : application de la méthode AHP**

### **IV.1 DEPLOIEMENT DE LA METHODE SUR LE BASSIN VERSANT DE OUED MZAB**

Dans cette étude, pour produire la carte de susceptibilité aux inondations, la technique d'analyse multicritère AHP combinée au SIG, a été utilisée. Cette technique fournit une approche systématique pour évaluer et intégrer les impacts de divers facteurs qui impliquent différents degrés d'informations dépendantes ou indépendantes, qualitatives et quantitatives. Le processus de la méthode peut être résumé en trois étapes: la sélection et l'évaluation des facteurs, l'analyse multicritère AHP, et l'analyse de la susceptibilité aux inondations.

### **IV.2 LES FACTEURS CONDITIONNANT L'INONDATION**

L'identification des facteurs induisant l'inondation est la plus importante étape dans l'évaluation de la susceptibilité aux inondations. Le choix de ces facteurs doit se faire dans un cadre garantissant l'englobement de l'ensemble du problème. En outre, l'ensemble des facteurs doit être réduit au minimum afin de réduire la complexité du processus d'évaluation. Les facteurs pluviométrie, occupation du sol, pente, densité de drainage, altitude, géologie, utilisés dans cette étude ont été sélectionnés en raison de leur contribution pertinente à l'inondation dans la zone d'étude. Ils ont été validés par des experts. Cependant, ils ne contribuent pas à la même amplitude raison pour laquelle nous procédons à une analyse multicritère pour évaluer le poids de la contribution de chaque facteur.

Les couches de données d'entrée ont des échelles et des unités de mesure différentes. Afin de calculer la susceptibilité comme une valeur cumulée de tous les facteurs, elles ont toutes été ramenées à la même échelle. La méthode de classification des ruptures naturelles pour les ensembles de données continues est utilisée pour séparer les valeurs de pixel. Ces dernières sont reclassées en cinq classes, de un à cinq, reflétant la susceptibilité à l'inondation de un très faible à cinq très élevée.

Les données physiques utilisées dans cette étude, ont été collectées des sources diverses (Tableau.IV.1).

Type de donnée	Description	Résolution/ Echelle	Source
Model Numérique de Terrain (MNT)	ASTER GDEM,	30m	Earth explorer
Accumulation de flux	Extraction à partir d'un MNT	30m	MNT
Occupation du sol		10m	Sentinel-2 Land Use/Land Cover
Précipitation	Méthode interpolation dans les SIG	0,1°	JAXA Global Rainfall Watch (GSMaP)
Pente	Extraction à partir d'un MNT	30m	MNT
Densité de drainage	Extraction à partir d'un MNT	30m	MNT
Types de sol	Soil Grids dataset	250m	Soil Grids dataset

Tableau.IV.1 : Données utilisées dans cette étude

#### IV.2.1 Accumulation de flux :

Cette méthode permet d'estimer le débit accumulé, un critère important de l'occurrence des inondations. Elle le fait en agréant les flux d'eau de la montée à la descente sur la grille de sortie. Des valeurs élevées de débit accumulé indiquent les cellules dans lesquelles l'eau qui s'écoule a tendance à se concentrer. Ces zones sont plus sujettes au risque d'inondation. Comme indiqué dans le Tableau 1, les valeurs d'accumulation de débit sont comprises entre 0 et 229795. La Figure 2 montre la distribution de l'indice d'accumulation de débit dans la région étudiée, les valeurs élevées ne se produisant que dans les affluents et leurs sorties.

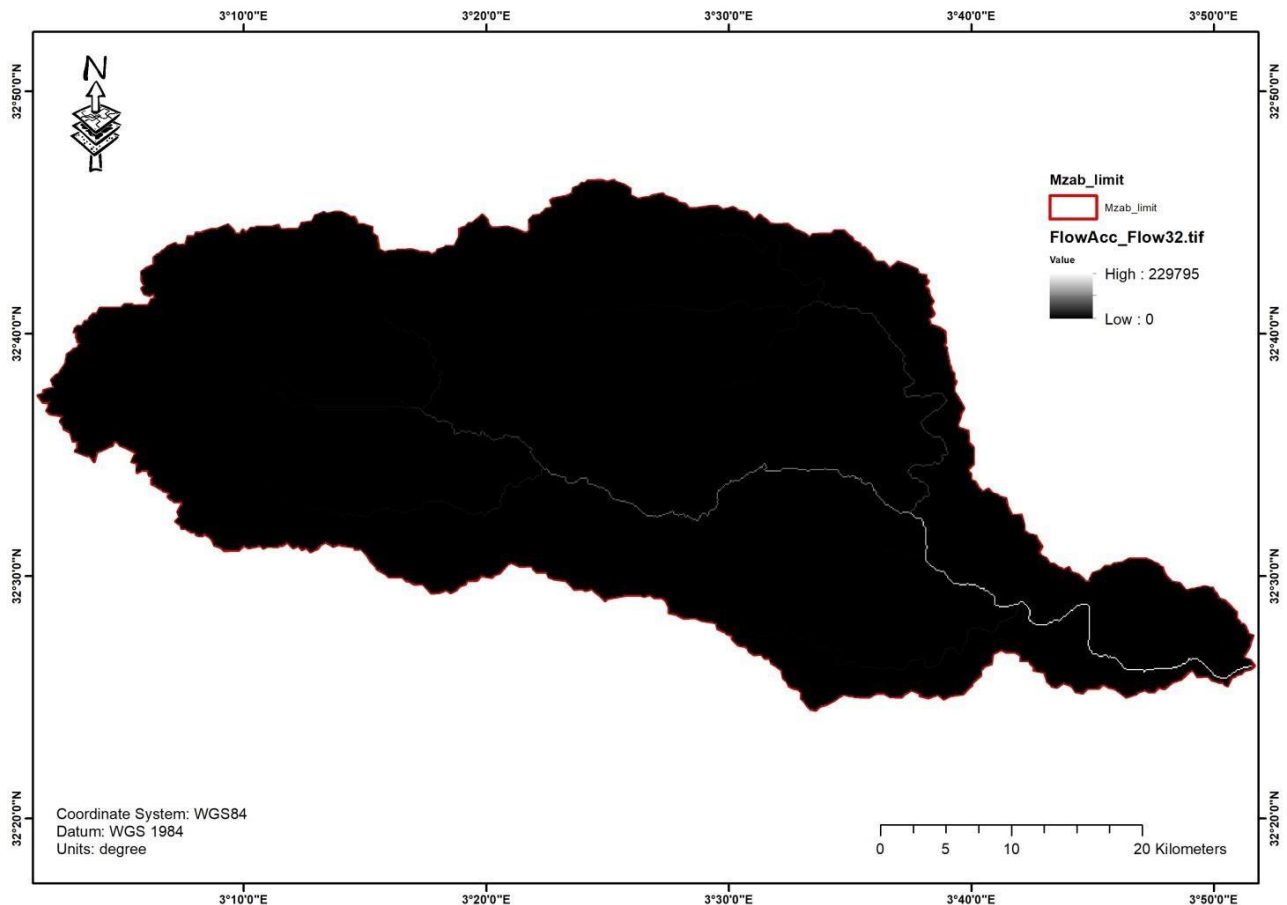


Fig.IV.1 : accumulation des flux du bassin versant de Oued Mzab

## IV.2.2 PLUVIOMETRIE

Les précipitations ont une influence significative sur les inondations lorsque les cours naturels des rivières ne peuvent pas transporter l'excès d'eau. Par conséquent, les berges débordent entraînant des crues fluviales. Les données pluviométriques ont été analysées dans la région d'étude en utilisant la méthode d'interpolation par la pondération inverse à la distance ou PID (en anglais, inverse distance weighting ou IDW) dans les SIG. La distribution spatiale des précipitations moyennes annuelles est illustrée sur la figure.

Les produits sur les précipitations de la JAXA se fondent sur une cartographie mondiale des précipitations par satellite (GSMaP). la JAXA a fourni des estimations des précipitations moyennes dérivées de la version 6 du GSMaP pour les précipitations horaires, quotidiennes (00-23UTC), pentadiques (5 jours), hebdomadaires (lundi à dimanche), décadiques (10 jours) et mensuelles avec une résolution spatiale de la maille de 0,1° de latitude/longitude. Les précipitations mensuelles de la JAXA GSMaP pour Janvier 2001-Décembre 2021 ont été utilisés pour préparer la carte de précipitation annuelles moyennes.

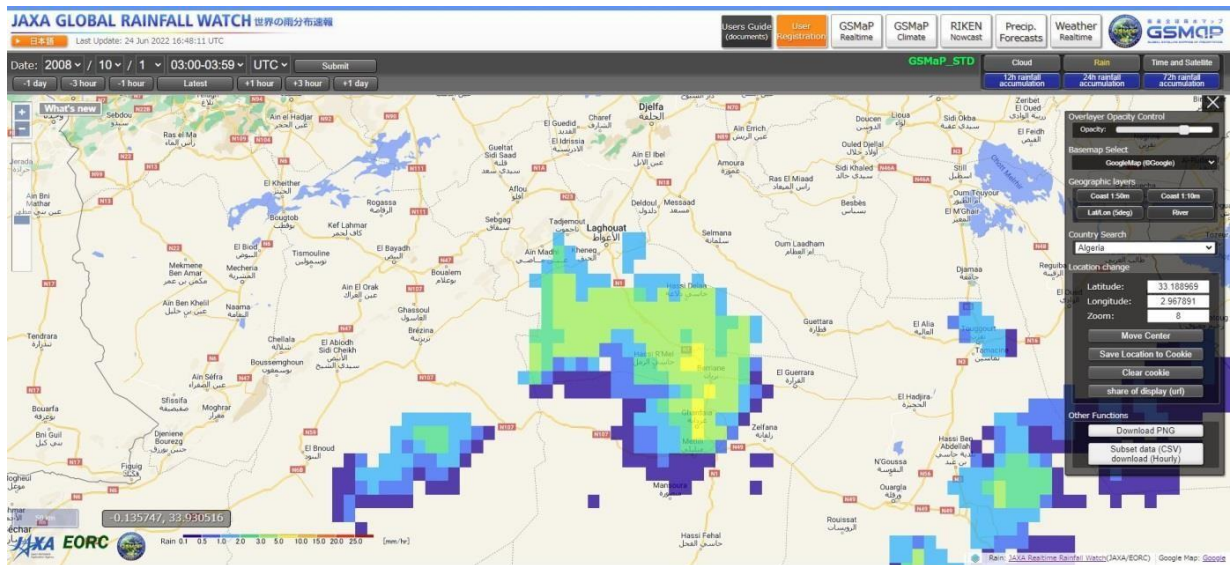
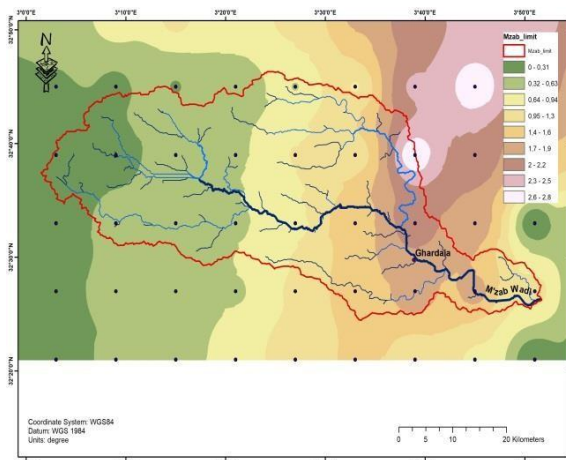
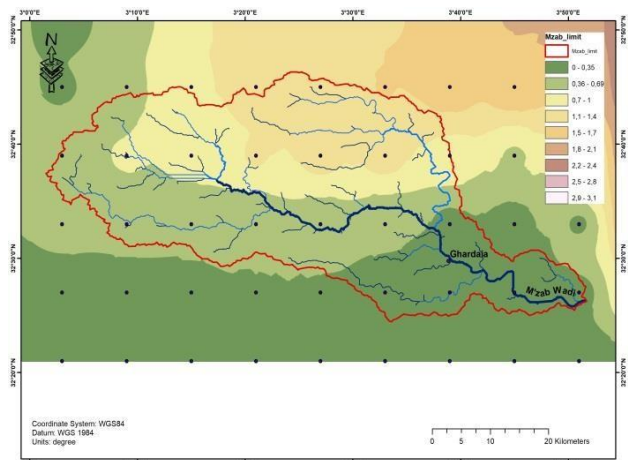


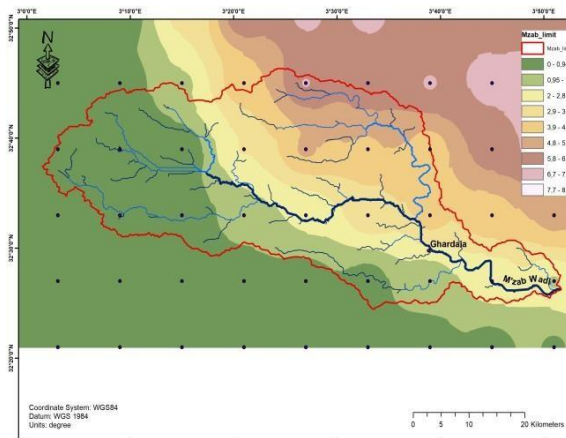
Fig.IV.2 : précipitations par satellite (GSMaP) : 01/10/2008



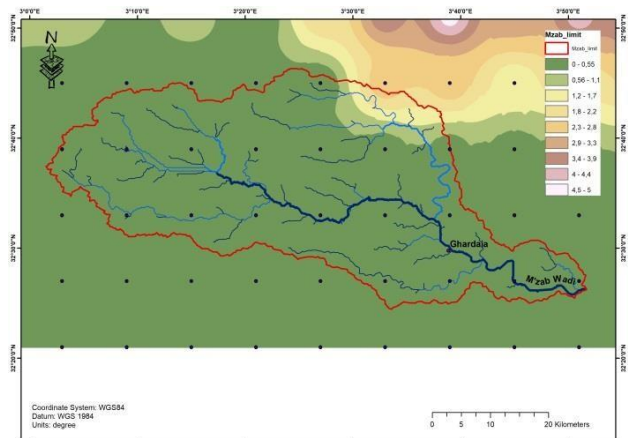
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.IV.3 : carte de précipitation (01/10/2008) : a) à 03 H, b) à 4H, c) à 5H ; d) à 6 H (Gsmap)

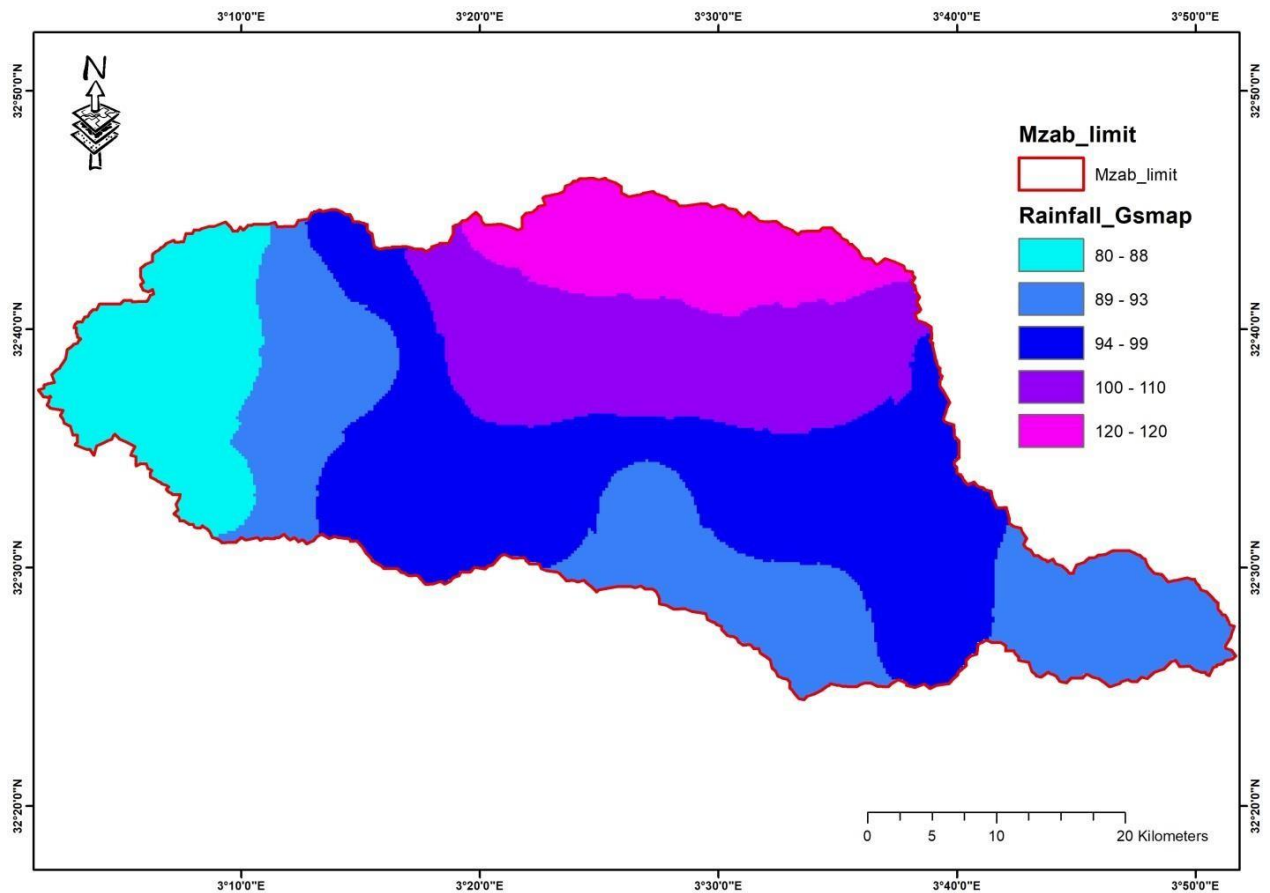


Fig.IV.4 : Carte de précipitations (2001-2021) par satellite. (Gsmap)

### IV.2.3 LA DENSITE DE DRAINAGE

La densité du drainage est un élément important dans les mesures de contrôle des crues. Elle exprime la longueur des cours d'eau par unité de surface (km / km<sup>2</sup>). Généralement, une densité de drainage élevée signifie une grande surface de ruissellement par rapport aux zones de faible densité de drainage. Par conséquent, elle a une forte probabilité d'être inondée. La carte de densité de drainage a été produite en utilisant l'outil d'analyse densité-ligne de ArcGIS. Cinq classes de densité de drainage sont affichées sur la figure correspondant à des classes très faibles, faible, modérée, élevée et très élevée.

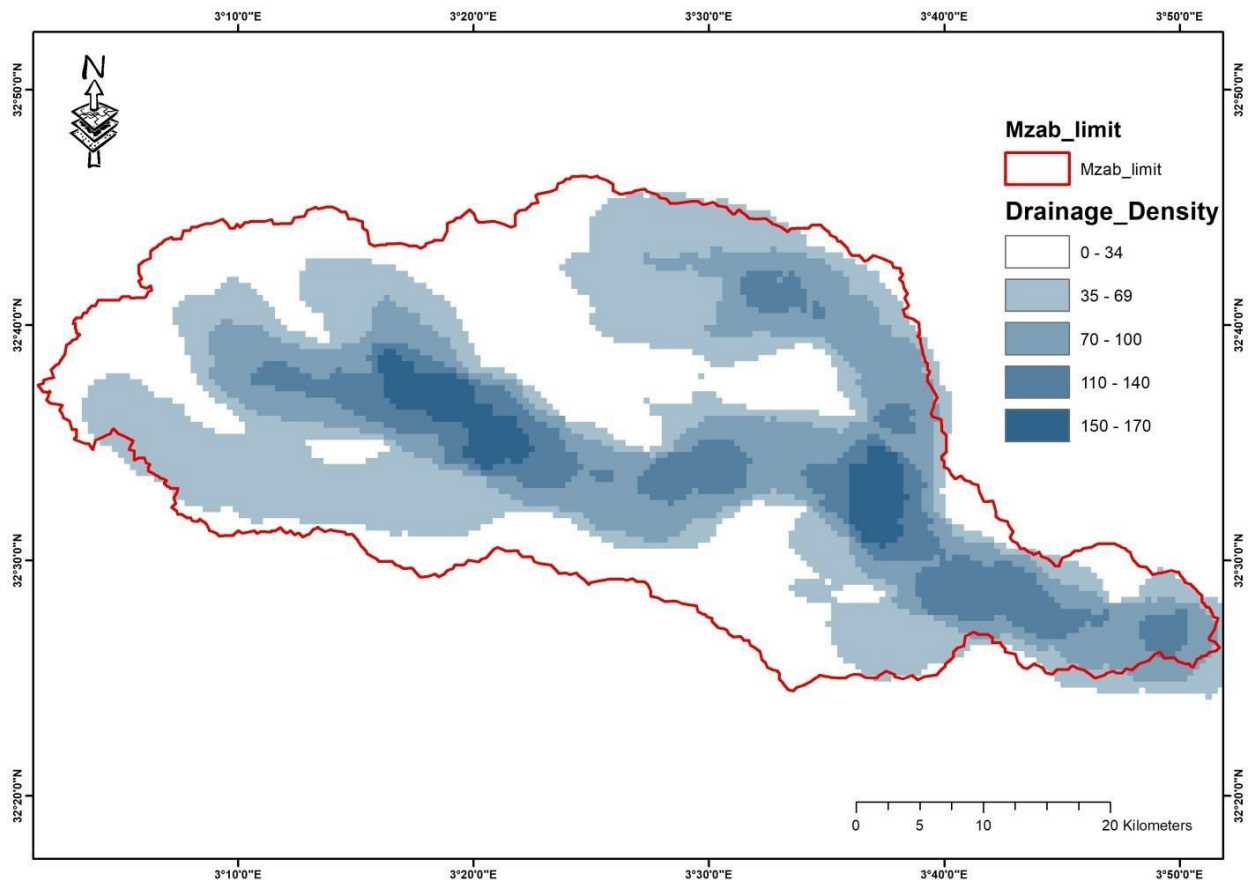


Fig.IV.5 : densité de drainage du bassin versant de Oued Mzab

#### IV.2.4 PENTE

L'inondation se produit dans les zones de faible pente due à l'accumulation vers le bas de l'eau en provenance des zones de haute altitude. La carte des pentes a été créée à partir du Modèle Numérique de Terrain de la zone d'étude où les pentes varient de 0 à 23%. L'analyse des pentes montre que la surface de la zone d'étude est dominée par des valeurs très faibles à faibles avec des pourcentages 1,73% et 3,84% ; respectivement. Les pentes modérées, hautes et très hautes, moins étendues, respectivement à 6,49% et 10,06% et 23,33%

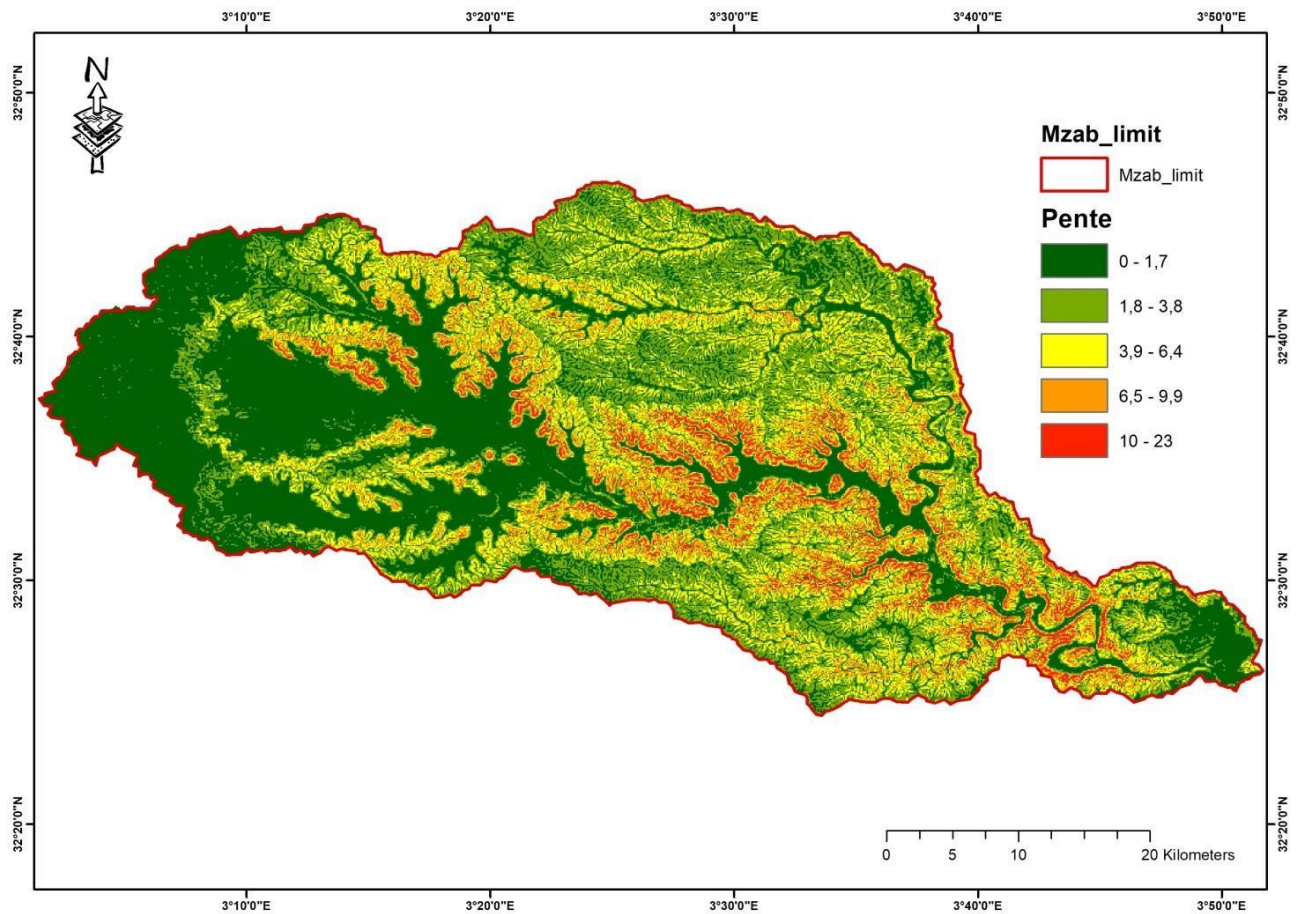


Fig.IV.6 : Carte du pente du bassin versant de Oued Mzab

#### IV.2.5 OCCUPATION DU SOL

L'occupation du sol constitue le principal facteur pour identifier les zones susceptibles d'être submergées par les crues. Cette dernière influence le taux d'infiltration. Par exemple, la forêt et la végétation favorisent l'infiltration de l'eau. D'autre part, la zone urbaine, qui est principalement constituée de surfaces imperméables et de terres nues, augmente le ruissellement des eaux. Les résultats de l'analyse spatiale réalisée dans ArcGIS montrent qu'une grande partie de la zone d'étude est couverte par les sols nus.

Six (5) classes ont été identifiées, comme le montre la Fig. 4d ; à savoir Plus de (97,40%) sont occupées par (Sol nu- zone de parcourable), végétation (0,024 %). Terres agricoles (0.184 %) et enfin, plans d'eau (0.008%)

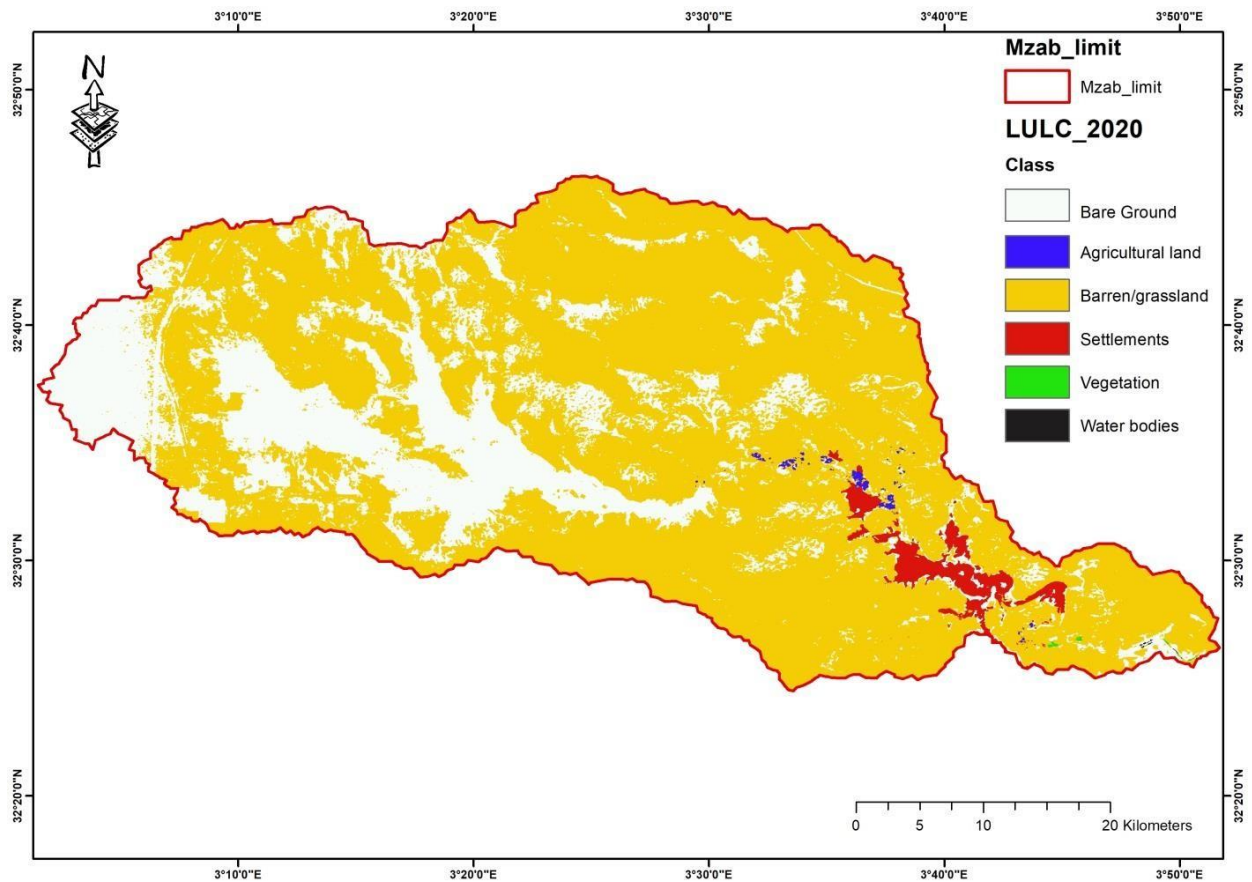


Fig.IV.7 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de Oued Mzab

#### IV.2.6 ALTITUDE

Les inondations sont généralement concentrées en basse altitude car les précipitations en haute altitude s'accumulent en aval en raison des forces gravitationnelles. Les classes d'altitude ont été automatiquement extraites du Modèle Numérique de Terrain (MNT), et reclassées en cinq classes dont la classe 1 est attribuée aux altitudes très élevées.

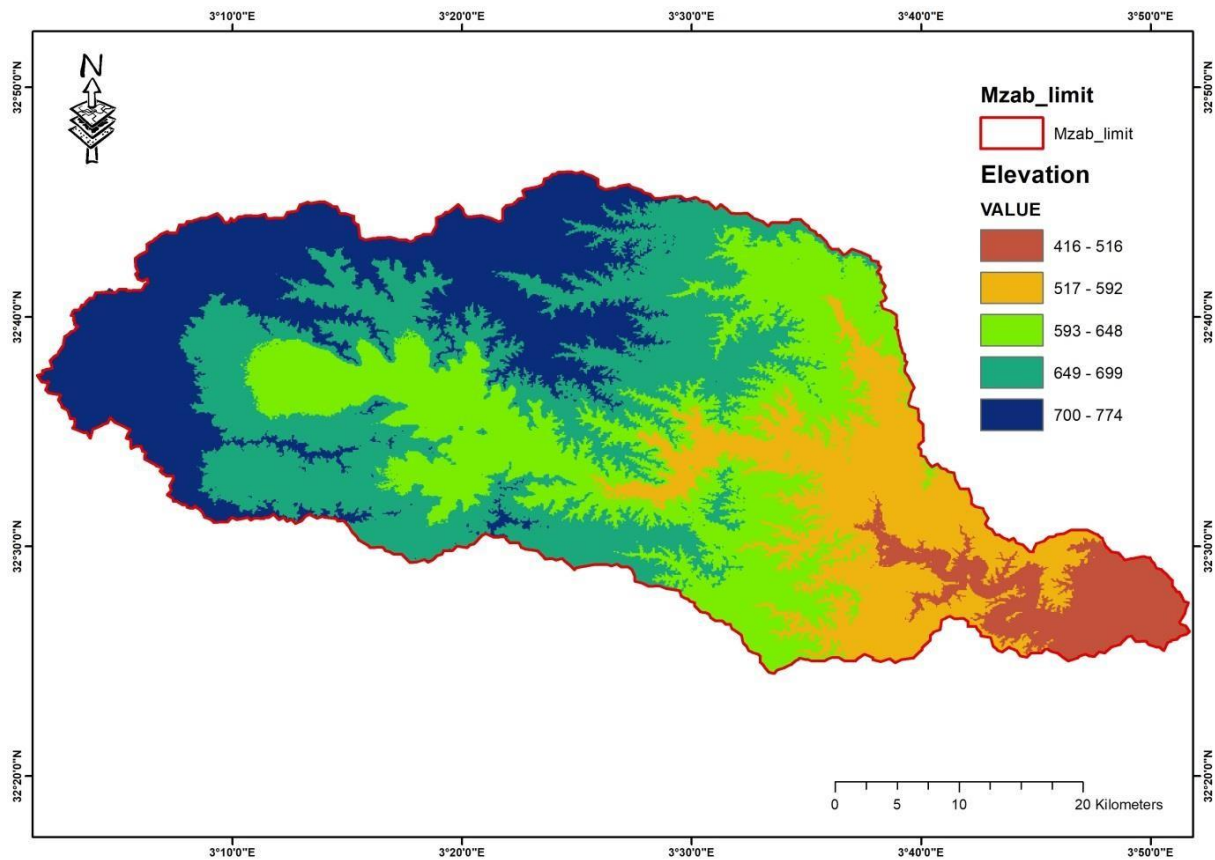


Fig.IV.8 : Carte d'élévation du bassin versant de Oued Mzab

#### IV.2.7 Types de sol

Le type de sols est un facteur important dans l'étude des risques d'inondation, car elle peut soit amplifier, soit atténuer le degré de risque lié à cette catastrophe naturelle. Ce facteur est lié à la perméabilité et à la capacité de stockage de l'eau qui varie selon les types de sols. Lorsque le sol est imperméable, l'infiltration des eaux pluviales est moins importante, ce qui favorise l'extension des surfaces de ruissellement et amplifie les effets des inondations. Les formations perméables, c'est-à-dire le sable grossier et le sable (grès), sont parfaites pour l'infiltration des eaux de pluie et diminuent par la suite le risque d'inondation. En revanche, les facteurs imperméables, c'est-à-dire l'argile et le limon, les roches cristallines, augmentent le débit de ruissellement, ce qui amplifie la probabilité d'inondation.

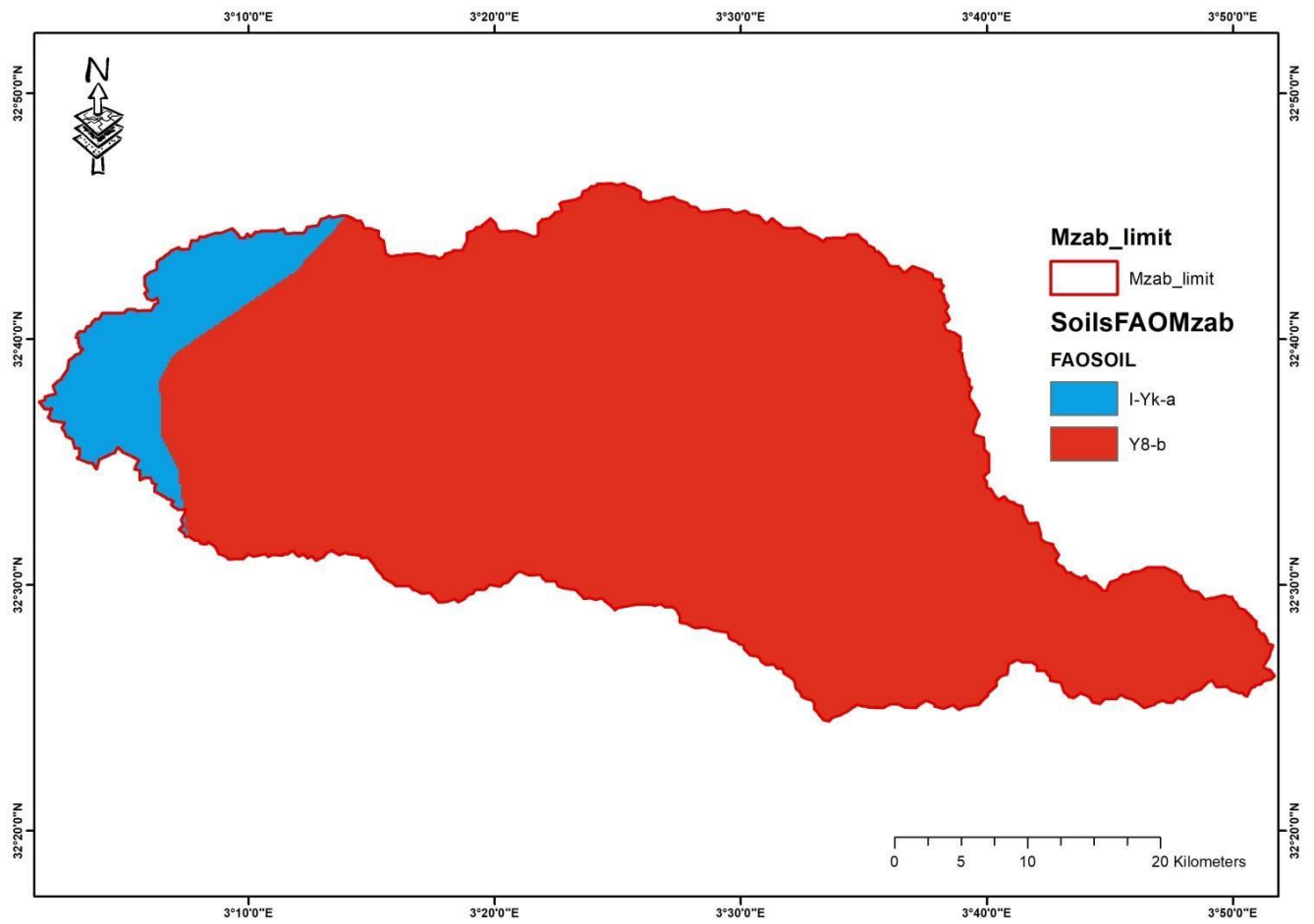


Fig.IV.9 : Carte des sols du bassin versant de Oued Mzab

### IV.3 PROCESSUS D'ANALYSE MULTICRITERE HIERARCHIQUE

La première étape de ce processus a consisté en la préparation des couches de données compatibles à l'interface Arc Gis. Après cette préparation, tous les facteurs ont été pondérés suivant l'Analyse Multicritère Hiérarchique (AHP) qui est une technique de prise de décision multicritères.

La méthode est basée sur la comparaison des différents facteurs, par paire. À partir de la construction d'une matrice carrée, on évalue l'importance relative d'un facteur par rapport à un autre, en utilisant pour cela, une échelle adéquate telle proposée par, (Tableau.IV.2). Les comparaisons par paires de tous les facteurs ont été prises comme données d'entrée de la matrice. Une fois que la matrice de comparaison est remplie, on calcule la valeur propre de chacune et le vecteur propre lui correspondant. Le vecteur propre indique l'ordre de priorité ou le poids des facteurs étudiés. Ce résultat est important pour l'évaluation de la probabilité,

puisqu'il sera utilisé pour indiquer l'importance relative de chaque facteur induisant l'inondation.

La matrice de comparaison par paires de cette étude, est présentée dans le tableau.IV.3 en utilisant une matrice 7 x 7, où les valeurs de la diagonale sont égales à 1. Les valeurs de chaque ligne sont comparées à chaque colonne pour définir l'importance relative de chaque facteur afin d'obtenir une valeur.

Tableau.IV.2 : Échelle proposée par Saaty

Intensité d'importance	Définition
1	Importance égale de deux éléments.
3	Faible préférence (l'élément i par rapport à l'élément j).
5	Forte préférence (l'élément i par rapport à l'élément j).
7	Très forte préférence (l'élément i par rapport à l'élément j).
9	Préférence absolue (l'élément i par rapport à l'élément j).
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements (l'élément i par rapport à l'élément j).
1/3	Faible préférence (l'élément j par rapport à l'élément i).
1/5	Forte préférence (l'élément j par rapport à l'élément i).
1/7	Très forte préférence (l'élément j par rapport à l'élément i).
1/9	Préférence absolue (l'élément j par rapport à l'élément i).
1/2, 1/4, 1/6, 1/8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements (l'élément j par rapport à l'élément i).

Tableau.IV.3 : Matrice de comparaison par paire

	Accumulation de flux	Altitude	Pluviométrie	Pente	Densité de drainage	Sols	Occupation du sol
Accumulation de flux	1	2	1	2	1/3	2	1/3
Altitude	1/2	1	2	2	1/3	2	1/3
Pluviométrie	1	1/2	1	2	1/3	2	1/3
Pente	1/2	1/2	1/2	1	1/3	2	1/3
Densité de drainage	3	3	3	3	1	3	1/3
Sols	1/2	1/2	1/2	1/2	1/3	1	1/3
Occupation du sol	3	3	3	3	3	3	1

Tableau.IV.4 : Matrice de pondération

Facteur	Accumulation de flux	Altitude	Pluviométrie	Pente	Densité de drainage	Sols	Occupation du sol	Poids
Accumulation de flux	0.105	0.190	0.091	0.148	0.059	0.133	0.111	0.120
Altitude	0.053	0.095	0.182	0.148	0.059	0.133	0.111	0.112
Pluviométrie	0.105	0.048	0.091	0.148	0.059	0.133	0.111	0.099
Pente	0.053	0.048	0.045	0.074	0.059	0.133	0.111	0.075
Densité de drainage	0.316	0.286	0.273	0.222	0.176	0.200	0.111	0.226
Sols	0.053	0.048	0.045	0.037	0.059	0.067	0.111	0.060

Occupation du sol	0.316	0.286	0.273	0.222	0.529	0.200	0.333	0.308
Somme	1	1	1	1	1	1	1	1

Après l'élaboration de la matrice de comparaison et la définition des poids des facteurs, il est nécessaire de vérifier la cohérence des jugements, par le calcul du ratio de cohérence. L'équation suivante donne le calcul du ratio de cohérence [22]:

$$CR = CI / CA$$

(1)

Où CI est l'indice de cohérence et CA est l'indice de cohérence aléatoire (Tableau 5) dont la valeur dépend du nombre n, et n le nombre de critère (facteurs).

La matrice sera cohérente si le rapport est  $< 0,1$ .

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n-1)$$

(2)

Où CI: indice de cohérence; n: nombre de facteurs évalués;  $\lambda_{\max}$ : la valeur propre calculée à partir de la matrice de comparaison.

La matrice de comparaison par paires est cohérente si  $\lambda_{\max} \geq n$  [20].

( $\lambda_{\max}$  est obtenu par la somme du produit de chaque élément du vecteur propre et la somme de la colonne correspondante de la matrice de comparaison), [23].

Tableau.IV.5 :Valeurs de CA [24]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Dans cette étude le nombre de facteur est égal à six, et comme résultat, CA est égale à 1,24.

$\lambda_{\max} = 6,41$ ; qui est supérieur à 6. Ainsi, la matrice de pondération est cohérente

dans cette recherche. CI = 0,082

$$CR = 0,066$$

Le ratio de cohérence est égale à 0,066 ce qui est inférieur à 0,1; la cohérence de la pondération est valide.

Tableau.IV.6 : Classes des facteurs et leur pondération

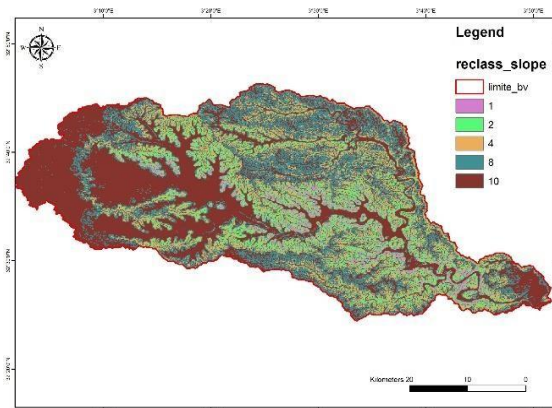
<b>Facteur</b>	<b>Classes</b>	<b>Range</b>	<b>Qualification de critère</b>	<b>Poids</b>
Accumulation de flux	0 - 5400	1	Très faible	12
	5500 – 28000	4	faible	
	29000- 58000	6	Modérer	
	59000 - 120000	8	haut	
	130000 - 230000	10	Très haut	
Altitude	416 - 516	8	Très haut	11
	517 - 592	4	haut	
	593 - 648	3	Modérer	
	649 - 699	2	faible	
	700 – 744	1	Très faible	
Pluviométrie	80-88	2	Très faible	10
	89-93	5	faible	
	94-99	6	Modérer	
	100-110	7	haut	
	120-120	8	Très haut	
Pente	0 - 1.7	8	Très haut	8
	1.8-3.8	4	haut	
	3.9-6.4	2	Modérer	
	6.5-9.9	1	faible	
	10-23	1	faible	
Densité de drainage	0-34	2	Très faible	23
	35-69	4	faible	
	70-100	6	Modérer	
	110-140	8	haut	
	150-170	10	Très haut	
Sols	Calcisols	4	haut	6
	Cambisol	2	Modérer	
Occupation du sol	Water bodies	1	Très faible	30
	Vegetation	2	faible	
	Barren/Grass land	3	haut	
	Agricultural land	2	faible	
	Settlements	10	Très haut	
	Bare/ground	8	haut	

#### IV.4 ANALYSE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX INONDATIONS

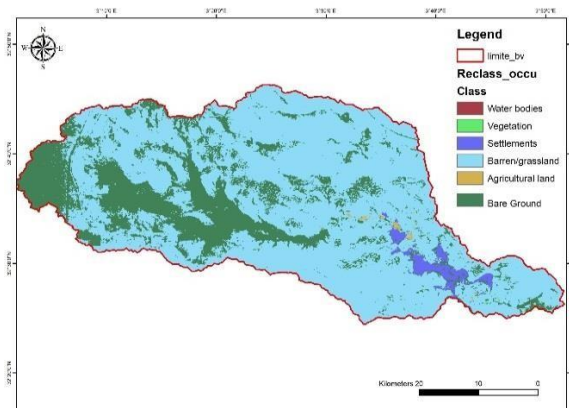
Toutes cartes thématiques sont établies par les performances du logiciel Arc-GIS, aménagées sous l'environnement SIG, par l'emploi d'une méthode de combinaison linéaire de pondération. En conséquence, une cartographie de la susceptibilité aux inondations a été obtenue par la classification d'indice de susceptibilité respectivement réparti en Cinq classes d'inondation potentielle : très faible, faible, modérée, élevée, très élevée.

La spatialisation de la susceptibilité aux inondations a été déterminée en utilisant l'outil ArcGIS -Spatial Analyst – Overlay pour agréger toutes les trames de facteurs pondérés afin de produire le résultat final, ceci en intégrant l'équation .

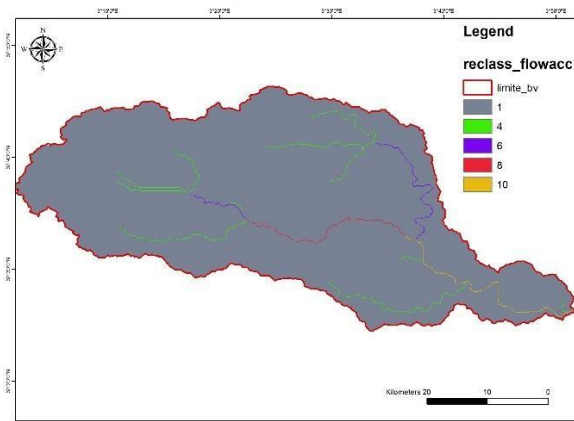
$$\text{Susceptibilité d'inondation} = (\text{Accumulation de flux} * 0,120) + (\text{Altitude} * 0,112) + (\text{Pluviométrie} * 0,099) + (\text{Pente} * 0,075) + (\text{Densité de drainage} * 0,266) + (\text{Sols} * 0,060) + (\text{Occupation du sol} * 0,308)$$



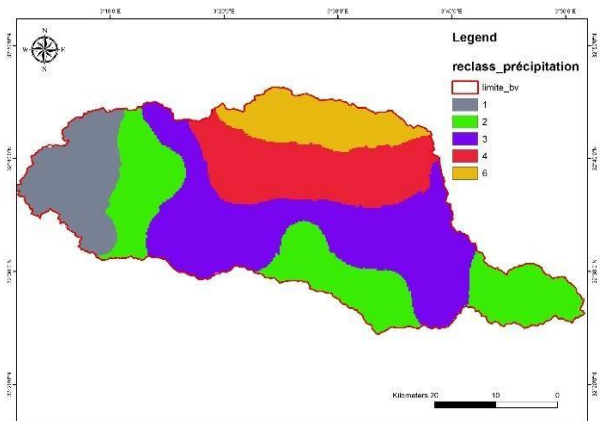
(a)



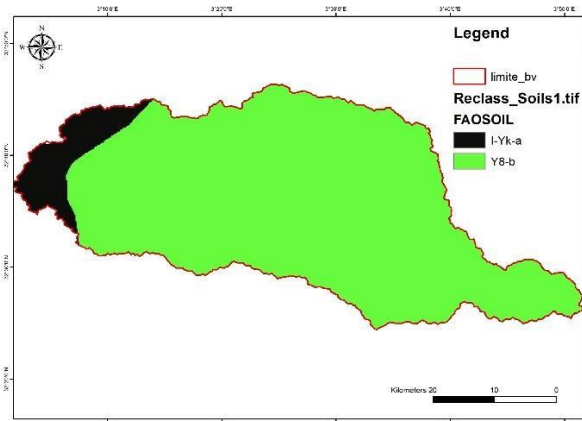
(b)



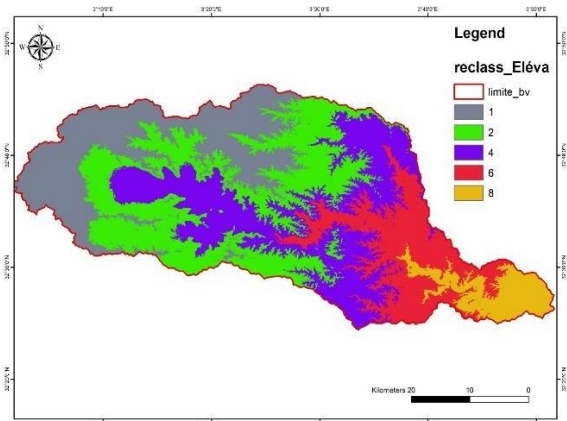
(c)



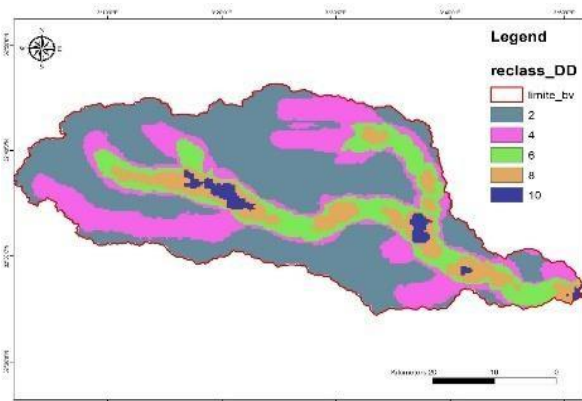
(d)



(e)



(f)



(g)

Fig.IV.10 : Reclassification des critères incluent dans la cartographie de la susceptibilité aux inondations du bassin versant de oued M'zab : a) pente, b) Occupation du sol, c) accumulation des flux, d) précipitation, e) types de sol, f) Altitude, g) Densité de drainage

# **Chapitre V : Résultats et interprétations**

## Chapitre V : Résultats et interprétations

### V.1 Résultats et discussion :

Le résultat final des calculs est une image où chaque pixel a des valeurs continues allant de 1 à 5 comme représentation de la susceptibilité aux inondations à chaque endroit. La sortie est fortement influencée par les poids, mais les valeurs combinées conservent des informations sur le degré de susceptibilité relative. La carte de susceptibilité aux inondations présentée sur la figure.V.1, est reclassée en cinq classes: très faible, faible, modérée, élevée, très élevée.

Cette carte montre que les zones de susceptibilité très élevées couvrent 1,52% de la superficie totale. Elles occupent le sud du bassin versant. La vallée de Oued M<sup>z</sup>ab qui est les théâtres réguliers des inondations, est principalement couverte par la zone de susceptibilité très élevée. Ces zones présentent des pentes et des altitudes faibles. Les eaux de pluies ruissellent des hautes altitudes pour inonder ces parties plates, et les lits des cours d'eau sont facilement débordés.

La zone de susceptibilité élevée occupe une partie considérable dans la zone d'étude. Cette zone est marquée par une pente faible, et reçoit une quantité élevée de précipitation. Cette plage occupe une proportion de 6.55 % de la zone d'étude et est éparpillée sur l'étendue de la superficie excepté au nord. La zone de susceptibilité moyenne est localisée au nord et l'ouest du bassin versant couvrant un taux de 30,46 % de la zone d'étude. Elle est caractérisée par une pluviométrie faible. La zone de faible à très faible susceptibilité à l'inondation couvre 61,47 % de la superficie totale et est localisée à l'extrême-nord et extrême ouest de la zone d'étude.

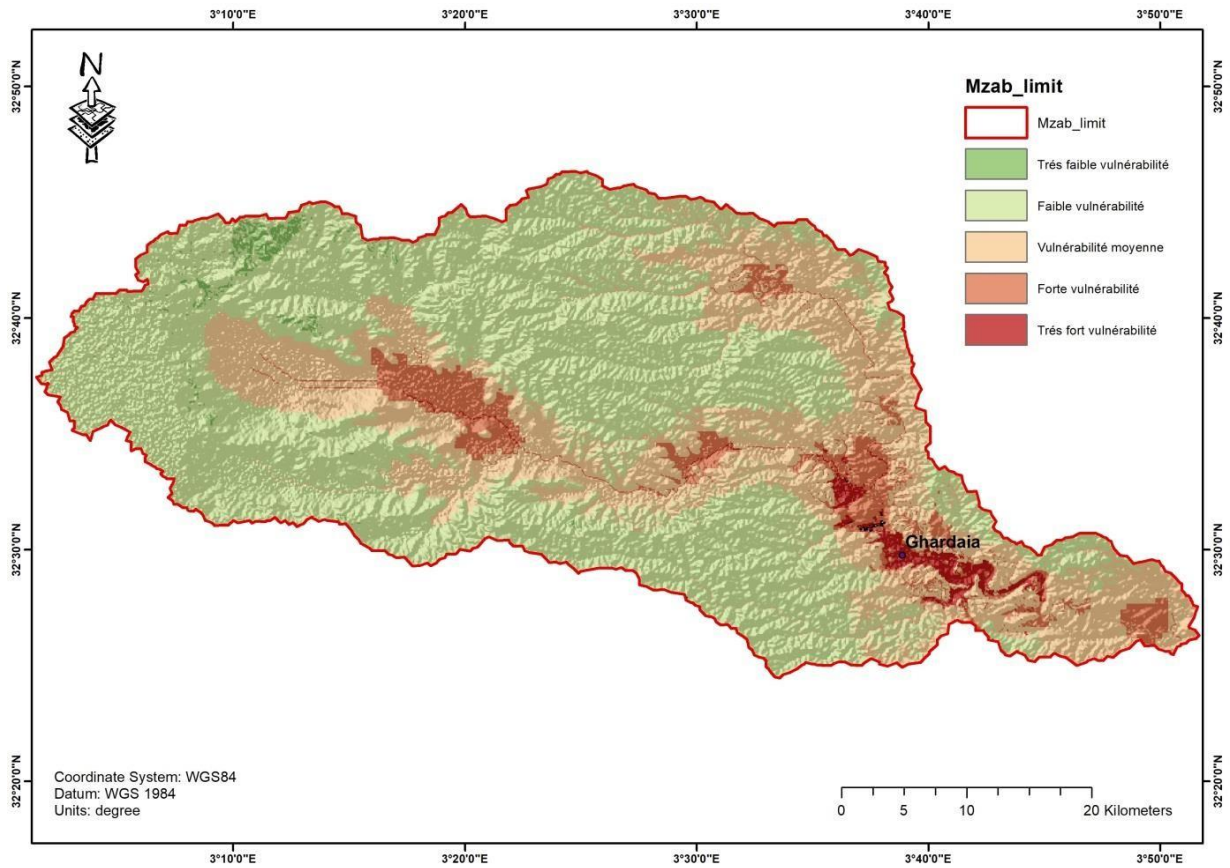


Figure V.1 Carte de susceptibilité aux inondations du bassin versant de Oued Mزاب

L'historique des inondations dans la zone d'étude, les cartes satellitaires et les travaux réalisés par l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL) ont permis de valider la carte de susceptibilité aux inondations car les zones les plus touchés par les inondations, sont couvertes par la plage de susceptibilité élevée à très élevées.

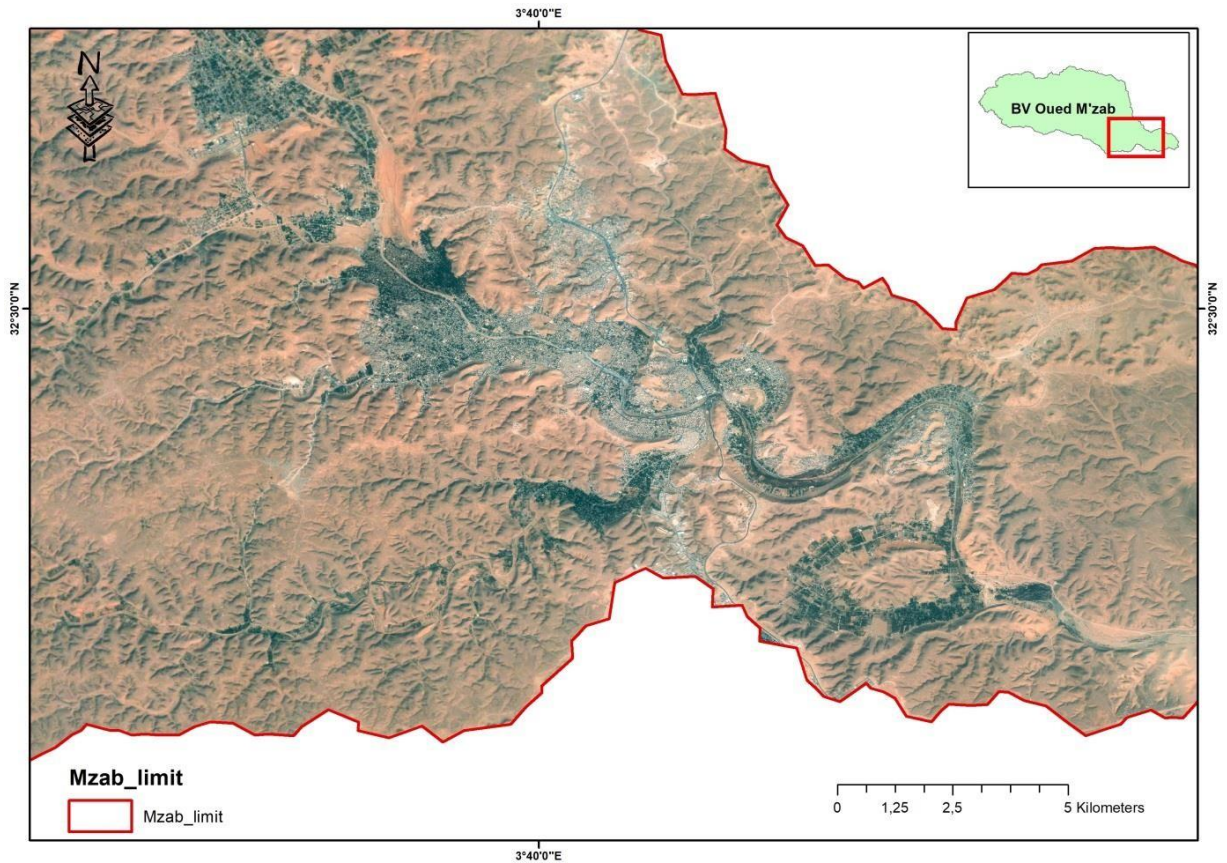
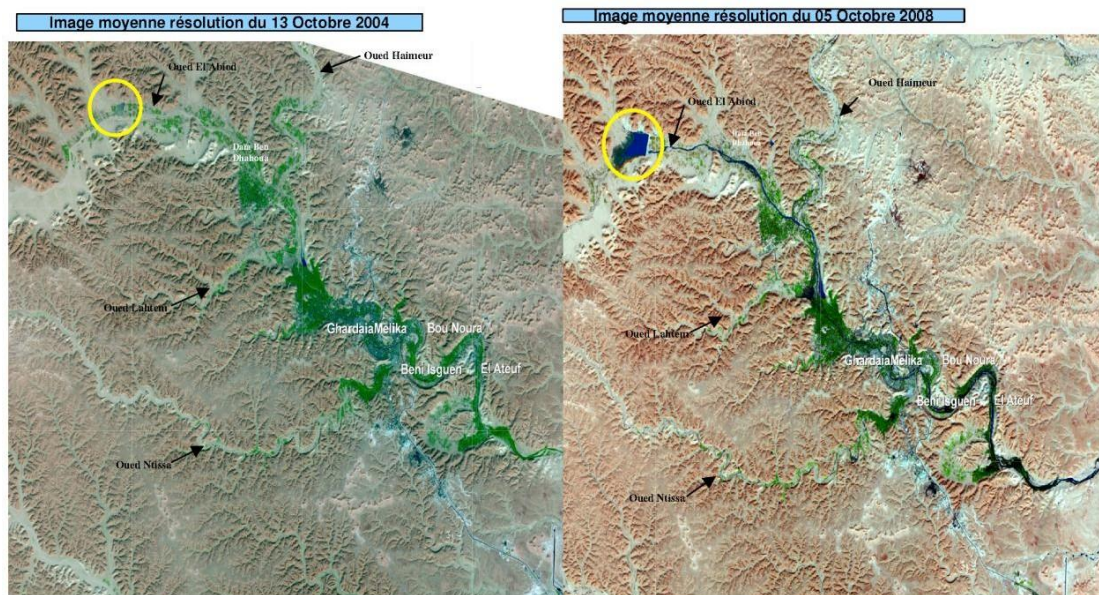


Figure Localisation de la vallée de Mzab



**Image avant inondations** : Localisation du site de la digue d'El Abiod avant sa construction (cercle jaune). La couleur verte indique des parcelles agricoles.

**Image après inondations** : Digue d'El Abiod après les inondations (cercle jaune): la couleur bleue correspond au volume d'eau retenue par cette digue. Les terres agricoles situées en amont de cette digue ont été inondés ( près de 100 hectares).

Figure Vue globale de la région inondée du 30 septembre au 01 Octobre 2008 (ASAL)

## Palmeraie de Ghardaia -



Figure Effondrement des routes qui sont reliées au pont (ASAL)

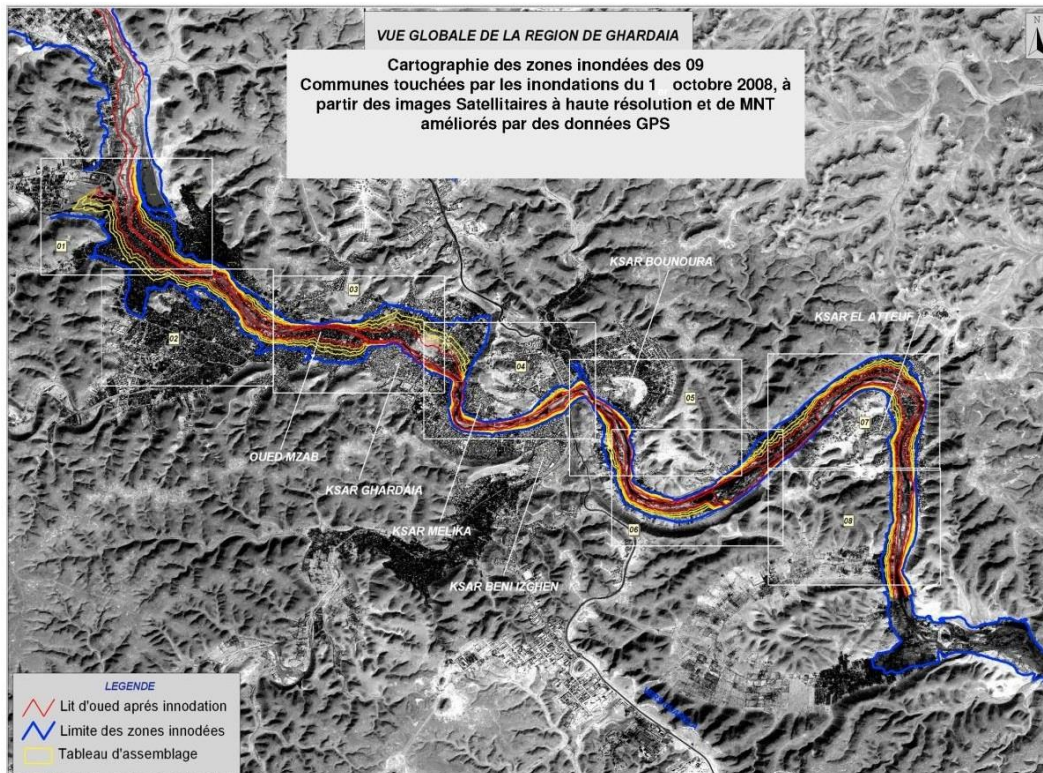


Figure Cartographie des inondées des 9 communes touchées par les inondations du 1 octobre 2008 (ASAL)

# **Conclusion Générale**

## **Conclusion :**

L'étude des phénomènes catastrophes naturelles telles que les risques inondation est particulièrement importante pour les décideurs politiques. Elle permet d'obtenir des informations stratégiques afin de mettre d'anticiper ou atténuation les risques et catastrophes consécutives à la manifestation de ce phénomène grâce à la mise en œuvre de plan de gestion cohérents.

Le présent travail applique une méthode d'indice multicritères pour évaluer les zones inondables à l'échelle d'un bassin versant, dans un environnement de système d'information géographique (SIG). La méthodologie développée a été appliquée dans le bassin versant de Oued Mzab, en traitant les informations de sept paramètres : l'accumulation de débit, l'altitude, la Pluviométrie, la Pente, la densité de drainage, le type de sols et l'occupation du sol. La méthode utilisée attribue une importance relative à chacun des paramètres pour l'occurrence et l'ampleur des inondations, et les valeurs de pondération correspondantes sont définies par un "processus de hiérarchie analytique". Par la suite, et en fonction de l'importance relative de chaque indice à l'échelle du bassin versant de Oued Mzab, les informations spatiales sont superposées, ce qui donne une carte des risques d'inondation. La somme des facteurs pondérés dans le SIG a permis de produire la carte de susceptibilité aux inondations qui contient cinq classes: très faible, faible, modérée, élevée et très élevée avec des proportions relatives. Il en résulte que 1,52% de la superficie totale du bassin versant est soumis à une susceptibilité très élevée aux inondations, 6,55% à une susceptibilité élevée, 30,46% à une susceptibilité modérée, 60,74% et 0,73% à une susceptibilité très faible et faible respectivement. Les résultats obtenus indiquent les zones inondables, avec un risque d'inondation très élevé se produisant principalement dans les basses terres à proximité du réseau de drainage. Les données relatives à l'historique des inondations catastrophiques enregistrées dans la zone d'étude, sont projetées sur la carte de susceptibilité aux inondations. Elles occupent les zones de susceptibilité élevée à très élevée. Ceci permet de valider le résultat obtenu de cette étude.

Le résultat principal de cette recherche se manifeste par l'élaboration d'une carte thématique liée au risque hydrique régional qui pourra être exploitée d'une part, sur le plan d'aménagement du territoire par les collectivités locales pour minimiser le risque encouru à l'inondation de la vallée de Oued Mzab. La carte des risques d'inondation fournie soutient les activités de planification et les plans d'atténuation qui sont essentiels pour protéger à la fois les activités agricoles et les infrastructures existantes contre les inondations futures.

# **Bibliographie**

## Références bibliographiques

- BOUBEKEUR Rachid. Analyse multicritère d'aide à la décision. mémoire de master. Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem.
- ROY, Bernard, BOUYSSOU, Denis : Aide multicritère à la décision : méthodes et cas
- MAYSTRE Lucien Yves, BOLLINGER Dominique. Aide à la négociation multicritère. Pratique et Conseils. Presses polytechniques et universitaires romandes. 1999
- G. BERNARD M. L. BESSON. Article. ,Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle Douze méthodes d'analyse multicritère
- Abdel YEZZA, Ph.D . La méthode TOPSIS expliqué é pas a pas, une varianté proposé 2017
- A IBRAHIME AND R A SURYA. article: The Implementation of Simple Additive Weighting (SAW) Method in Decision Support System for the Best School Selection in Jambi
- XLSTAT by addinsoft.site web . Analytic Hierarchy Process
- NADIA LEHOUX PASCALE VALLÉ. analyse multicritère par
- HADJADJ - ABDI Khaoula. Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen/
- Melle KAHIL O. et Melle SMAIL M. Optimisation Linéaire Multicritère Discrète: Implémentation de la Méthode de Sylva & Crema,doctora.université mouloude mammeri,2011.
- HADJADJ - ABDI Khaoula , Investigation autour de la localisation optimale des stations d'épuration : cas du groupement urbain de Tlemcen.mémior de master. UniversitéAbou Bakr Belkaid– Tlemcen/ 2017
- BESSEDIK. développement d'un SIAD collaboratif basé sur les technologies WES etles agent : application à la gestion de production dynamique,mémioire de master.2018
- BEKHTARI Mohammed Cherif. Les méthodes multi-critères pour analyser les aptitudesdes terres agricoles : le cas du blé tendre en Languedoc-Rousillon analysé avec la méthode AHP/2015/ Université Paul Valéry de montpellier. master.
- Imène BESSEDIK. université d'Oran/Doctora 2018. p8-13
- GAELE GUESDON , Aide multicritère à la décisionComparaison de Saaty, universitélaval Faculté des sciences et de génie Université Laval 2011
- BOURAHLA KHOULOUD. Evaluation de la vulnérabilité au risque d'inondation en utilisant l'approche Multicritères sous SIG (AMC) de la région du Hodna. mémoire de master. université mohamed boudyaf - m'sila.

BACHI .M, 2011. Problématique Du Risque Inondation En Milieu Urbain ; Cas De L'agglomération De Sidi Bel Abbes » Mémoire De Magister En Hydraulique, Université De Tlemcen.

MADI RIDA. contribution a l'étude des crues pour une gestion du risque aux inondation, mémoire de master. école national supérieure d'hydraulique-arbaoui abdellah,2014.

DJEBALI KHALIFA, Contribution à l'étude de l'aléa " inondations": Genèse et prédiction Cas de la vallée d'El-Abadia (w.Ain Defla), mémoire de master, 2015

O. GILARD et N. GENDREAU, Inondabilité : une méthode de prévention raisonnée du risque d'inondation pour une gestion mieux intégrée des bassins versants. Article,,2022.

OPEN EDITION JOURNAL. Risques d'inondation et vulnérabilité : l'exemple du bassin versant de la rivière Kennebecasis, Nouveau-Brunswick, Canada, 2020).

BOURAHLA, Evaluation de la vulnérabilité au risque d'inondation en utilisant l'approche Multicritères sous SIG (AMC) de la région du Hodna, mémoire de master, université Mohammed boudiaf –m'sila,2020.

TINA OUMELKHEIR. Etude d'un périmètre d'irrigation à Kef Doukhane, à partir des eaux épurées de la station d'épuration d'EL-Atteuf à Ghardaïa, Mémoire de master université de ghardaia.2015.

ANRH.2016. Contexte géologique.

AHMED HAMEL SAID HANICHI. Etude Hydrogéologique de l'ensemble aquifère ancien de la région de METLILI (Wilaya de Ghardaïa), Mémoire de master. Université de ghardaia.2019.

HADJ BRAHIM. étude hydrogéologique de continental intercalaire dans la région de Ghardaïa. Mémoire de master. Université de ghardaia.2017.p22-p28

OULED SIDI AMOR TAYEB. Vulnérabilité A La Pollution Des Eaux De La Nappe Superficielle De La Vallée Du M'Zab. Mémoire De Master. Université Kasdi Merbah – Ouargla. 26/-05/2016.

MANSOUR ACHOUR. Vulnérabilité Et Protection Des Eaux Souterraines En Zone Aride (cas de la vallée du M'Zab ,Ghardaïa-Algérie) Mémoire Magister En Sciences De La Terre, université D'Oron.13 Février 2014.

MOHAMMED SAHLI, Les Enjeux de la Gestion Collective des Eaux de Crues et des Inondations dans la vallée du M'zab, école normale supérieure de Constantine,2010.

DJELLOULI TABET, Le bassin versant du M<sup>e</sup>zab, région méditerranéenne hyperaride (Algérie) : ressources en eau, risques et gestion.

M. YAHIAOUI ABDELHALIM. Inondations torrentielles cartographie des zones vulnérables en algérie du nord (cas de L<sup>e</sup>oued mekerra, wilaya de Sidi bel abbes), Thèse doctorat En hydraulique.école nationale polytechnique, laboratoire de mobilisation et valorisation des ressources en eau. 3 Juillet 2012.